İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YAPI MALZEMESİ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ-ENVANTER ANALİZİ ÜZERİNE BİR MODEL

DOKTORA TEZİ

C. Zeynep OĞUZ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

ŞUBAT 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YAPI MALZEMESİ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ-ENVANTER ANALİZİ ÜZERİNE BİR MODEL

DOKTORA TEZİ

C. Zeynep OĞUZ
(502092006)

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Leyla TANAÇAN

ŞUBAT 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502092006 numaralı Doktora Öğrencisi C. Zeynep OĞUZ ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "YAPI MALZEMESİ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ-ENVANTER ANALİZİ ÜZERİNE BİR MODEL" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Leyla TANAÇAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hakan YAMAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Fatih YAZICIOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 5 Şubat 2021
Savunma Tarihi : 23 Şubat 2021

“ailem”e...

ÖNSÖZ

Bu uzun yolda daima elimden tutan ve bana yol gösteren sevgili hocam Prof. Dr. Leyla TANAÇAN'a değerli katkıları ve emekleri için sonsuz teşekkür ederim. Tez çalışması boyunca sürekli destekleri ile yardımlarını esirgemeyen hocalarım Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY ve Prof. Dr. Hakan YAMAN'a yorumları, katkıları ve destekleri için çok teşekkür ederim.

Çalışmam süresince desteğini daima sıcak tutan Dr. Öğretim Üyesi Saniye KARAMAN ÖZTAŞ'a ve bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Metalurji ve Malzeme Yüksek Mühendisi Işık KAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Manevi destekleriyle bana itici güç veren ve bu zorlu süreçte beni bir an yalnız bırakmayan aileme ve ailemin bir parçası olan dostlarıma da içten teşekkürlerimle,

Ocak 2021

C. Zeynep OĞUZ
(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xiii**
SEMBOLLER ..... **xv**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xvii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xix**
ÖZET ..... **xxi**
SUMMARY ..... **xxiii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Problemin Belirlenmesi 1
1.2 Literatür Araştırması 2
1.2.1 Yapı ölçeğinde yaşam döngüsü envanter (YDE) analizi çalışmaları 2
1.2.2 Yapı malzemesi ölçeğinde yaşam döngüsü envanter analizi çalışmaları 3
1.2.3 Türkiye'de yapı ve yapı malzemesi yaşam döngüsü envanter analizi çalışmaları 7
1.3 Amaç ve Hipotez 8
1.4 Kapsam 9
1.5 Malzeme ve Yöntem 10
2. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ ENVANTER ANALİZİ 13
2.1 YDE Analizi Tanımı ve İlgili Standartlar 13
2.2 YDE Analizi Modelleme Yaklaşımları 16
2.2.1 Niteleyici YDD 16
2.2.2 Sonuca bağlı YDD 16
2.2.3 Diğer modelleme yaklaşımları 16
2.3 YDE Analizi Hesaplama Yöntemleri 16
2.3.1 Süreç tabanlı YDE 17
2.3.1.1 Süreç akış diyagramları 17
2.3.1.2 Ürün sisteminin matris olarak gösterilmesi 18
2.3.2 Ekonomik girdi çıktı tabanlı YDE 18
2.3.3 Melez yöntemler 19
2.3.3.1 Sıralı melez analiz 19
2.3.3.2 Yol değişimi (PXC - path exchange) melez analiz 19
2.3.3.3 Girdi-çıktı tabanlı melez analiz 20
2.3.3.4 Bütünleştirilmiş melez analiz 20
2.4 Bölüm Sonuçları 20
3. YAPI MALZEMESİ YAŞAM DÖNGÜSÜ ENVANTER ANALİZİ (YDEA) YÖNTEMİ 23
3.1 Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi Envanter Analizinin İncelenmesi 25
3.1.1 YDEA yöntemi veri toplanması 25
3.1.1.1 Veri toplanması için hazırlık 26

3.1.1.2 Veri toplama 34
3.1.2 YDEA yöntemi veri hesaplaması 36
3.1.2.1 Verinin onaylanması 36
3.1.2.2 Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi 40
3.1.2.3 Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi 40
3.1.2.4 Verinin kümelendirilmesi 40
3.1.2.5 Sistem sınırlarının inceltilmesi 41
3.1.3 YDEA yöntemi veri dağıtımı 41
3.2 Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi Envanter Analizi Veritabanlarının İncelenmesi 42
3.2.1 Veri tabanlarının veri toplanması açısından karşılaştırması 43
3.2.1.1 Veri toplanması için hazırlık 43
3.2.2 Veri tabanlarının veri hesaplanması açısından karşılaştırılması 61
3.2.2.1 Verinin onaylanması 61
3.2.2.2 Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi 69
3.2.2.3 Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi 69
3.2.2.4 Verinin kümelendirilmesi 69
3.2.2.5 Sistem sınırlarının inceltilmesi 70
3.2.3 Verinin dağıtımı 71
3.3 Bölüm Sonuçları 77
4. TÜRKİYE YAPI MALZEMESİ SEKTÖRÜ İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ ENVANTER ANALİZİ MODELİ (TRea) 83
4.1 Türkiye'deki Yapı Malzemesi Sektörü Çevre Yönetim Standartları 83
4.2 YDE Analizi Modelleme Yaklaşımının Belirlenmesi 86
4.3 YDE Analizi Hesaplama Yönteminin Belirlenmesi 87
4.4 Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Envanter Analizi Modelinin (TRea) Oluşturulması 87
4.4.1 TRea modeli veri toplanması kararları 88
4.4.1.1 Veri toplanması için hazırlık kararları 88
4.4.1.2 Veri toplanması kararları 99
4.4.2 TRea modeli veri hesaplanması kararları 103
4.4.2.1 Verinin onaylanması 103
4.4.2.2 Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi 105
4.4.2.3 Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi 105
4.4.2.4 Verinin kümelendirilmesi 105
4.4.2.5 Sistem sınırlarının inceltilmesi 106
4.4.3 TRea modeli veri dağıtım kararları 106
4.5 Bölüm Sonucu 106
5. YAŞAM DÖNGÜSÜ ENVANTER ANALİZİ (TRea) MODELİNİN ALÜMİNYUM YAPI MALZEMESİ ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN SINANMASI 107
5.1 Alüminyum Yapı Malzemesi Üretim Süreci 108
5.2 TRea Modelinde Alüminyum Yapısal Profil için Envanter Analizi 108
5.2.1 Veri toplanması açısından alüminyum yapısal profilin incelenmesi 108
5.2.1.1 Veri toplanması için hazırlık açısından alüminyum yapısal profilin incelenmesi 112
5.2.1.2 Veri toplanması açısından alüminyum yapısal profilin incelenmesi 114
5.2.2 Veri hesaplanması açısından alüminyum yapısal profilin incelenmesi .. 116
5.2.2.1 Verinin onaylanması 116

5.2.2.2 Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi 118
5.2.2.3 Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi..... 118
5.2.2.4 Verinin kümelendirilmesi..... 118
5.2.2.5 Sistem sınırlarının inceltilmesi..... 118
5.2.3 Veri dağıtımı açısından alüminyum yapısal profilin incelenmesi 119
5.3 TRea modelinin alüminyum yapısal profil örneğinde sınanmasına dair sonuçlar ve tartışma 119
5.3.1 Veri toplanması açısından TRea modelinin tartışılması 119
5.3.2 Veri hesaplanması açısından TRea modelinin tartışılması 121
5.3.3 Veri dağıtımı açısından TRea modelinin tartışılması 122
6. SONUÇ 125
KAYNAKLAR 129
EKLER 139
EK A: Envanter Analizi Akış Şeması..... 141
EK B: TRea Modeli Akış Diyagramı..... 143
ÖZGEÇMİŞ..... 145

KISALTMALAR

APME **:** Association of Plastics Manufacturers in Europe

BS EN **:** British Standard European Norm

CAS : Chemical Abstracts Service

ÇÜB **:** Çevresel Ürün Beyanı

ELCD **:** European Reference Life Cycle Data System

EN **:** European Norm

EPD **:** Environmental Product Declaration

ILCD **:** International Reference Life Cycle Data System

ISO **:** International Standards Organization

IUPAC **:** International Union of Pure and Applied Chemistry

LCA **:** Life Cycle Assessment

PRTR : Pollutant Release and Transfer Register

REACH **:** Registration, Evaluation, Authorisation And Restriction of Chemicals

SETAC **:** Society of Environmental Toxicology And Chemistry

TRACI **:** The Tool For The Reduction And Assessment Of Chemical And Other Environmental Impacts

US LCI **:** United States Life Cycle Inventory

VKG **:** Veri Kalitesi Göstergeleri

XML **:** extensible markup language

YDD **:** Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

YDE **:** Yaşam Döngüsü Envanter

YDEA **:**Yaşam Döngüsü Envanter Analizi

YDED **:** Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi

SEMBOLLER

Al **:** Alüminyum

CO_2 **:** Karbondioksit

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Veri tabanlarının “veri toplanması için hazırlık” adımına dair kuralları. **54**
Çizelge 3.2 : Veri tabanlarının "veri toplanması" adımına dair kuralları. **62**
Çizelge 3.3 : Veri tabanlarının “veri hesaplanması” adımına dair kuralları. **72**
Çizelge 3.4 : Veri tabanlarının “veri dağıtımı” adımına dair kuralları. **76**
Çizelge 3.5 : Veri toplanması için hazırlık adımı için oluşturulan kurallar..... **77**
Çizelge 3.6 : Veri toplanması adımı için oluşturulan kurallar..... **77**
Çizelge 3.7 : Veri hesaplanması adımı için oluşturulan kurallar..... **78**
Çizelge 3.8 : Veri dağıtımı adımı için oluşturulan kurallar..... **78**
Çizelge 3.9 : Veri toplanması için hazırlık adımı için oluşturulmuş kuralların incelenen veri tabanları ile uyumu..... **79**
Çizelge 3.10 : Veri toplanması adımı için oluşturulmuş kuralların incelenen veri tabanları ile uyumu **80**
Çizelge 3.11 : Veri hesaplanması adımı için oluşturulmuş kuralların incelenen veri tabanları ile uyumu..... **81**
Çizelge 3.12 : Veri dağıtımı adımı için oluşturulmuş kuralların incelenen veri tabanları ile uyumu **82**
Çizelge 4.1 : Ambalaj atıkları yönetmeliğinde verilen malzemelere göre geri kazanım hedefleri..... **94**
Çizelge 5.1 : Tesis içerisinde yönetmelikler ve üretim sürecine dair yapılmakta olan veri toplama işlemleri..... **115**
Çizelge 5.2 : İncelenmiş veri tabanları ve ISO standartlarında belirtilen VKG ve bu göstergelerin tesiste yanıtlanabilirliği..... **117**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Çalışmada kullanılan kuramsal yöntemin adımları. **12**
Şekil 2.1 : YDD ve ÇÜB ilişkisi **15**
Şekil 2.2 : YDD çalışma ve ÇÜB arasındaki ilişkiyi ve süreçteki mekanizmaları gösteren şema. **15**
Şekil 2.3 : Suh ve Huppes (2005) ve Crawford (2018) çalışmalarından oluşturulan YDE analizi hesaplama yöntemleri. **17**
Şekil 3.1 : YDEA yöntemi ile ilgili ISO 14040 serilerindeki ana-başlıklar ve literatürden oluşturulan alt başlıklarla ilişkisi. **25**
Şekil 4.1 : Türkiye yapı malzemesi sektörü envanter analizi modelinin oluşturulması için göz önüne alınan değişkenler. **84**
Şekil 5.1 : Yurtdışından getirilmiş Al külçeler **109**
Şekil 5.2 : Ekstrüzyon hattından hurda olarak çıkan, tesis-içi hurda olarak dökümhaneye nakledilecek profiller. **109**
Şekil 5.3 : Döküm işlemi ardından ekstrüzyon hattı için bekleyen Al biyetler. **110**
Şekil 5.4 : Farklı Al profil üretimleri için kalıplar **110**
Şekil 5.5 : Al yapısal profil üretimine dair tesiste uygulanmakta olan üretim akış şeması **111**
Şekil A.1: Envanter analizi akış şeması **141**
Şekil B.1: TRea modeli akış diyagramı **143**

YAPI MALZEMESİ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ - ENVANTER ANALİZİ ÜZERİNE BİR MODEL

ÖZET

Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) ürün/hizmetlerin üretimden-yok edilmelerine kadar oluşturdukları çevresel etkilerin hesaplanması için geliştirilmiş bir yöntemdir. Dünyada giderek daha yaygın olan YDD çalışmaları kapsamlı çalışmalardır. Bu çalışmalar uygulamada, belirli etki değerlendirme kategorileri açısından ürünleri değerlendiren çevresel ürün beyanlarına (ÇÜB) da dönüştürülmektedir. Dört evreden oluşan YDD içerisinde ikinci evre olan envanter analizi, bu çevresel etkilere sebep olan girdi ve çıktıların nicel olarak derlenmesinin yapıldığı evredir. Dünyadaki uygulamasına baktığımızda farklı ülkelerin, yaşam döngüsü değerlendirmesi amaçlı, yerel ve küresel değerlendirme araçları ve bunlarla ilişkili veri tabanları oluşturdukları görülmektedir. Doğru sonuçlara ulaşan YDD çalışmaları için yerel özellikleri yansıtan ve koşullarla uyumlu araçların ve veri tabanlarının kullanılması önemlidir. Çalışmanın amacı, Türkiye yapı malzemesi sektörü için küresel veri tabanları ile uyumlu bir YDD envanter analizi modeli geliştirilmesidir. Bu çalışma ile Türkiye koşullarını göz önüne alan modelin oluşturulmasıyla, yapı malzemesine dair çevresel etkilerin değerlendirilmesi daha doğru yapılabilecektir. Bu model, yapı malzemesi üreticilerinin çevresel etkisi olumlu malzemesinin öne çıkabilmesine, proje için malzeme seçimi yapacak mimar/mühendislerin daha az çevre etkisine sebep olan malzeme/ürün seçebilmelerine ve genel anlamda çevresel etkisi daha az malzemenin seçilebilmesini kolaylaştırararak ekolojik faydaya hizmet edecektir.

Bu çalışma kapsamında YDD ve ÇÜB standartları, YDD yaklaşımları, YDE hesaplama yöntemleri ve seçili veri tabanları incelenmiştir. Veri tabanları seçimi, yapı malzemesine odaklanan YDD veri tabanlarının incelendiği öncül bir çalışmaya dayanır. Bu çalışma kapsamında da incelenen aynı veri tabanları: ecoinvent, GaBi, ELCD/ILCD, Plastics Europe eco-profiles, Athena, US LCI, CPM, Bedec, Probas ve Base Carbone'dur. Bu veri tabanları envanter analizi ile ilişkili temel başlıklar olarak: veri toplanması, veri hesaplanması ve verinin dağıtılması adımları için incelenmiştir. Veri toplanması ile ilişkili alt başlıklar: veri kaynakları, sistem sınırları, işlevsel birim, kapsam kararları, kesim kuralları, elementer akışlar, veri toplanması yöntemi ve veri biriktirilmesidir. Veri hesaplanması ile ilişkili alt başlıklar: eksik verinin tamamlanması, veri kalitesi kontrolü, verinin onaylanması, verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi, verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi, verinin kümelendirilmesi ve sistem sınırlarının inceltilmesidir. Bu inceleme sonucunda gözönüne alınan veri tabanları ile olabildiğince uyumlu sınırlar çizilmiş, genel akış şeması oluşturulmuştur. Bu çalışmanın ardından Türkiye yapı malzemesi sektörü için güncel koşullar incelenmiştir. Önceki bölümde oluşturulan akış şemasının Türkiye yapı malzemesi sektörü koşularına göre güncellemesi yapılarak Türkiye yapı malzemesi envanter analizi (TRea) modeli akış diyagramı oluşturulmuştur. Ardından modelin işlerliği alüminyum (Al) yapısal profil üretimi üzerinden incelenmiştir.

Çalışmanın sonucunda, Al yapısal profil üzerinden malzemenin sınanmasında, Türkiye'de modern araçlar kullanılarak yapılan çalışmalarda birçok girdi-çıktı verisine ulaşımın olduğu görülmüştür. Buna paralel olarak mevzuat kapsamında da bazı girdi-çıktı verilerinin talep edildiği görülmüştür. Ancak çalışma kapsamının genişletilmesi için gerekli arka plan verilerine dair çalışmaların yapılması gereklidir. Türkiye açısından konu değerlendirildiğinde, envanter analizi akışına dair sektörel abakların oluşturulması ve ölçümlerin sıklaştırılması gereklidir. Çevresel etkilere olumsuz katkısı dolayısıyla özellikle yapı malzemesi sektörü için firma tercihi ile alınan çevresel ürün beyanlarının (ÇÜB) arttırılması gereklidir.

A MODEL ON BUILDING MATERIAL LIFE CYCLE ASSESSMENT-INVENTORY ANALYSIS

SUMMARY

Life cycle assessment (LCA) is a method developed to calculate the environmental impacts of products/services from production to disposal. LCA studies, which are increasingly common in the world, are comprehensive studies. In practice, these studies are transformed into environmental product declarations (EPD) that evaluate products in terms of specific impact assessment categories. Inventory analysis, which is the second stage in the LCA, consists of four stages, is the stage where the quantitative compilation of inputs and outputs that cause these environmental impacts is calculated. When we look at the application in the world, it is seen that different countries have created local and global assessment tools and related databases for life cycle assessment. It is important to use tools and databases that reflect local characteristics and comply with the conditions for LCA studies that reach correct results. The aim of this study is to develop a LCA inventory analysis model compatible with global databases for Turkish building material sector. With this study by the creation of the model considering conditions of Turkey, evaluation of environmental impact of building materials can be made more accurately. It is aimed that the model to be created within the scope of the study will include all building materials. However, in this study, which is the first step of the inventory analysis model, “cradle-to-gate” system boundary and re-cycle were included in the scope. At this stage, the reason for the participation of the re-cycle process, which also has a positive effect on the environmental impact of the materials, is that it is considered as an important process for the correct evaluation of the building materials. This model will serve the ecological benefit by making it easier for building material manufacturers to stand out with positive environmental impact materials, architects/engineers who will choose materials for the project to choose materials/products that cause less environmental impact.

Within the scope of this study, literature studies, LCA and EPD standards, LCA approaches, LCA calculation methods and selected databases were examined. In this context, the standards examined in detail are ISO 14040 - Environmental Management series and BS EN 15804 standards. The databases examined within the scope of the study are: ecoinvent, GaBi, ELCD/ILCD, Plastics Europe eco-profiles, Athena, US LCI, CPM, Bedec, Probas and Base Carbone. A previous study on LCA databases about construction materials is used as a base for database selection. These databases were examined as the main headings related to inventory analysis as the main steps in the ISO 14040 series: data collection, data calculation and allocation steps. These steps were detailed by literature and by examining GaBi and ecoinvent documents, which are among the most frequently used LCA databases in the literature. As a result of this elaboration, subheadings related to data collection are: data types, system boundaries, functional/declared unit, scope decisions, cut-off rules, elementary flows, data

collection methods and data collection formats. Subheadings related to data calculation are: completing missing data, data quality, data validation, associating data with functional unit, associating data with unit process, aggregating and refining system boundaries. In the study, the rules applied by the analyzed databases for these topics were compiled. Considering these application rules, boundaries are drawn as compatible as possible with the analyzed databases. A base that will provide maximum harmony with the databases evaluated in this way has been created. These rules are also evaluated in the inventory analysis flowchart.

This study then examined the current conditions for the sector of building materials in Turkey. Since regulations applied in the production of building materials vary in detail, existing legislation in Turkey is taken into account in general. Turkish building material inventory analysis (TRea) model flow chart is created by updating the flowchart in the previous section according to Turkish building material sector conditions within the context of the headings discussed in Chapter 2 and Chapter 3.

After creating the TRea model flow diagram, its operability has been examined over the production of aluminum (Al) structural profiles. Testing of the model by Al structural profile has provided the examination of the model through a material which is energy intensive with recycle process but of which raw material production is limited in Turkey.

In testing the TRea model, the inventory analysis in the Al structural profile sample was able to be evaluated within the gate-to-gate (covering only the production process) system boundaries. Within the scope of the study, since the production of a facility producing Al structural profile using ingot Al from abroad was examined, inventory analysis could be done from gate-to-gate. The inventory information included in the cradle-to-gate (raw material production-transportation-material production) system boundary, which is mandatory in BS EN 15804, “raw material production” and “transportation” data must be provided from the raw material manufacturer and the transportation firm within the framework of the flow diagram specified in TRea. In order to obtain consistent data on the production of raw materials, the producer must create this information by applying the same inventory analysis model. If this is not possible, the average data for the same raw material producers in Turkey should be used. To obtain average data TRea model must be applied to various materials and average data must be formed representing conditions of Turkey. Considering the implementation of scope decisions over the Al structural profile, it is seen that it includes energy, water, waste management (including recycling) and on-site transportation. However, data on infrastructure and transportation could not be included. It is possible to include these data by conducting more comprehensive studies. When examining the creation of elementary flow, first it is appropriate to create EPD to collect data on the prior impact assessment categories for Turkish building material. In the Al structural profile sample, it is possible to access some of these data or related data from the site as raw data. However, specially for Turkey, basic required studies of this data must be done (Turkish conditions in electricity production etc.) and formation of necessary databases for this has started.

The basic decision in terms of data collection method is to determine the unit processes accordingly and to create and fill in data collection papers according to the required elementary flows. What is needed to be done at this scale is to establish the relationship between elementary flows and impact assessment categories after collecting raw data. In the Al example, the production flow chart at the facility was created and the unit

processes for the structural profile were determined. The creation of the flow diagram and the collection of raw data are getting easier and more reliable with the increase in the frequency of recording by the production tools in the sites using modern production techniques. Equipping the production sites with modern tools and making the measurements required in regulations/standards more frequently are issues that will have a positive effect on data collection. By seperation of sectoral product groups, manufacturers with same regulation responsibilities can be formed and data sheets with mandatory data for the product group can be created. For data storage, a comprehensive base required for the TRea database to work together with other analyzed databases should be created. In particular, it is essential that data collection forms must be created from data collection method, elementary flows regarded and concerning data quality indicators (DQIs) in a suitable format. Standart formats are a must for interoperability of databases to allow transformation.

Compiling missing data in TRea can be done with the hierarchy created from databases. It is important to create all DQIs of the analyzed databases, both in terms of ensuring compatibility with other databases and being used as part of the internal review mechanism. Internal validation methods can also be used in the approval process. In the Al structural profile example, the responsiveness of the DQIs in the analyzed databases at the facility was evaluated. At the end of this study, it was seen that all necessary indicators can be answered. In the Trea model, which is a scientific study covering different disciplines, university approval is recommended as external approval. During the collection of data in the model, it is recommended not to do aggregation, which is the gathering of equivalent data. There is no data to be aggregated in the Al example. In the transfer of information from inventory analysis to the impact assessment stage, aggregation can be done with the necessary mathematical operations by selecting the appropriate clusters from the stored data. In the Al structural profile example, no mathematical operations for aggregation are done, but it is possible in the model to aggregate if needed. In the Trea model, it was suggested that the allocation should be done according to physical and then economic balances. In the Al structural profile example, allocation could be made by physical relations without using economic relations. The control of allocation should be done by applying the 100% rule, as recommended in the ISO 14040 standard series.

When TRea, which is an inventory analysis model for Turkey’s building material sector, is evaluated over Al structural profiles, it is seen that the model has an applicable flow. However, inventory analysis, a comprehensive study area supported by databases, is closely related to the following issues; creation of other databases related to Turkey, reduction of labor-intensive process of studies, execution with Turkey’s conditions. Similarly, with the evaluation of different materials in the model, a building material database associated with TRea will also be created. Creation of this database will facilitate the implementation of the background database and will support studies to reflect the characteristics of Turkey. Modelling raw data-elementary flow-impact assessment categories of TRea model, must have a priority in the establishment of database containing background data of Turkey’s conditions.

LCA inventory analysis is a process that can be easily accelerated by adapting regulations in Turkey. However, in this evaluation method, where the measurement frequency is important for reliability, reducing the economic values of the measurements and increasing the measurement frequency with laws/regulations will make a positive contribution to data quality. In this way, the creation of the TRea inventory database can be done quickly and reliably, with the required data coming

from the sector within the framework of certain standards. Advancing the analysis from cradle-to-cradle boundary is necessary to complete the "life cycle" concept. For this, in the TRea model, the boundaries that include cradle-to-gate and recycling must be completed by adding transportation, construction, use and renovation phases. In addition, necessary studies should be done for a database that will work in harmony with the TRea model flow diagram. The creation of the abaca to collect inventory data related to building material sector conditions in Turkey and intensification of measurements are neccessary.

Due to the negative contribution of building material production to environmental impacts, it is necessary to increase the use of environmental product declarations (EPDs) which are received by the company preference currently. Cooperation of building material sector, universities and governmental agencies for this purpose, can accelerate number of building material EPDs.

1. GİRİŞ

1.1 Problemin Belirlenmesi

Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) çalışmaları, ürün ve hizmetlerin çevresel etkilerini ölçmek için yapılan çalışmalardır. 1970'lerin başında başlayan YDD yaklaşımları, toplanan verilerden bir envanter oluşturularak değerlendirilmesinin yapılmasıdır (Guinee, (t.y.), s. 9).

YDD çalışmaları, ürünler ve hizmetler için kullanılan kaynakları ve oluşan çevresel etkileri nicel bir yöntem ile göz önüne seren çalışmalardır. Bu anlamda ürün ve hizmetlere dair nitel ifadelerin önüne geçen bilimsel çalışmalardır. Ürün ya da hizmetlerin, günümüzde giderek önemli bir kavram olan "sürdürülebilirlik" kavramı içerisindeki yerini ürün, sektör ya da ekonomik ilişkiler gerçekleri ile gösterirler. Mimarlık ve yapı malzemesi de bu kapsam içerisindedir. İnşaat sektörünün çevre için oldukça yıkıcı bir sektör olduğu bilinmektedir. Yapılar yıllık küresel enerji kullanımında üretimleri, işletilmeleri, bakımları ve yıkım süreçlerinde yaklaşık %40'lık bir paya sahiptirler (Dixit ve diğ, 2013, s. 154). ABD verileri değerlendirildiğinde, yapıların oluşum ve işletim enerjileri ile yıllık enerji tüketiminin %48'ini kullandığı görülmektedir (URL-1). Worldwatch Enstitüsü raporlarında inşaat etkinliklerinde kullanılan kum, çakıl ve taş yüzdesi, yıllık toplam kullanımın %40'ına karşılık gelmektedir (Esin ve Coşgun, 2004, s. 4). Bütün bu tüketim-yoğun etkinlikleri nedeniyle inşaat sektörünün çevresel etkilerinin bilinmesi önemlidir. Günümüzde, binaların işletim enerjisinin, yapılarda kullanılan enerjinin %80-90 oranını kullandığı, yapı malzemesi oluşum enerjisinin ise %10-20 oranında kaldığı görülmektedir (Ramesh ve diğ, 2010, s. 1592). Ancak pasif enerjili yapıların artması ile bu yüzdelerin oranlarının değişeceği ve yapı malzemesi oluşum enerjisinin payının, yapılarda enerji kullanımı içerisinde artacağı öngörülmektedir (Dixit ve diğ, 2013, s. 153; Moncaster ve Symons, 2013). Binaların yaşam döngülerini değerlendirmede malzemenin yaşam döngüsünün değerlendirilmesi gereklidir (Beccali ve diğ, 2002, s. 1).

Araştırmalardan da görüldüğü üzere inşaat sektörü hammadde kullanımına, enerji tüketimine ve çevre kirliliğinine sebep olan temel alanlardandır. Dolayısıyla inşaat

sektörü, günümüzde giderek artan bir öneme sahip olan ekolojik bakış açısı ile değerlendirilmesi gereken bir alandır. Bu alanda yapıların işletimleri sırasında enerji tüketiminin daha verimli hale getirilmesiyle ilişkili çalışmalar artarken, bu alandaki gelişmeler yapı malzemesinin ekolojik bakış açısı ile değerlendirilmesini daha önemli bir konuma getirmektedir.

1.2 Literatür Araştırması

Bu çalışmada, inşaat sektörünün çevresel etkilerinin değerlendirilmesine dair yapılan yaşam döngüsü envanter analizi (YDEA) literatür çalışması, yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) envanter analizi yapılması ile ilişkili olarak incelenmiştir. Bu bağlamda literatür çalışmaları üç başlıkta değerlendirilmiştir: yapı ölçeğinde yaşam döngüsü envanter (YDE) analizi çalışmaları, yapı malzemesi ölçeğinde yaşam döngüsü envanter analizi çalışmaları ve Türkiye'de yapılmış yapı ve yapı malzemesi yaşam döngüsü envanter analizi çalışmaları olarak incelenmiştir.

1.2.1 Yapı ölçeğinde yaşam döngüsü envanter (YDE) analizi çalışmaları

Yapı ölçeğinde envanter analizinin uygulanması ile ilgili sorunları içeren çalışmalar incelendiğinde, sistem sınırlarının düzenlenmesi/ortaklaştırılması, veri kalitesi gibi sorunlu alanları ortaya çıkarmaya ve bunlara çözüm önerisi getirmeye çalışan çalışmalar bulunmaktadır (Dixit ve diğ, 2013). Veri toplanması alanında kolay veri toplanması, zaman kazanımı ve güvenilir bilgilere erişim gibi konulara çözüm önerileri getirmeye yönelik çalışmalar da bulunur (Iosif ve diğ, 2008). Ayrıca çevresel profil oluşturmaya dönük çalışmalarda, gelecekte gerekli uyarlamaların yapılabilmesi için çevresel etkilerin ayrı ayrı değerlendirilebilmesinin önemine dikkat çekilir (Harris, 1999).

Yapı ölçeğindeki çalışmalarda, envanter analizinin enerji ile ilişkili olarak incelendiği görülmüştür. Literatürde yapıları enerji kullanımları açısından değerlendiren çalışmalarıda binaların yaşam döngüsü evrelerini ortak sistem sınırlarına çekmeye çalışan çalışmalar (Dixit ve diğ, 2013) ve tüm sürece bütüncül olarak bakılmasını savunan çalışmalar (Adalberth, 1997) vardır. Yapıların YDD sürecinde enerji kullanımları göz önüne alındığında, sadece işletme enerjisi değil, malzeme süreçleri (oluşum, nakliye, yenileme ve yıkım) de göz önüne alınarak değerlendirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır (Adalberth, 1997). Enerji kullanımına dair yapılan çalışmalarda, yapı-yapı malzemesi ilişkisi diğer birçok tüketim ürününden farklı

olduğu için malzemenin yenilenmesine dair koşulların göz önüne alınması çalışmalarda da ifade edilir (Dixit ve diğ, 2013). Yapılarda enerji kullanımının incelendiği bir diğer çalışmada malzeme oluşum enerjileri, malzeme yenileme enerjileri, işletme enerjileri ve yıkım ve malzemenin bertaraf edilmesine dair enerjiler kapsama dahil edilmekte olduğu, çoğunlukla kapsama dahil edilmeyen yıkım sonrası malzeme/ürünlerin geri-dönüşüm/yeniden kullanım enerjilerinin bütüncül bir çalışma kapsamında göz önüne alınması önerilmektedir (Ramesh ve diğ, 2010).

Yapı ölçeğindeki çalışmalarda, yapıların bütününe dair YDD modeli oluşturan çalışmalar bulunmaktadır. Yapı ölçeğinde Brezilya'da konut binalarının YDD ile performansının değerlendirildiği bir çalışmada, Brezilya için ISO 14040, ISO 14044 ve ters çevrilmiş koni metodolojisi (Inverted Cone Methodology) kullanılarak YDD akış diyagramı oluşturulmuştur (Evangelista ve diğ, 2018).

1.2.2 Yapı malzemesi ölçeğinde yaşam döngüsü envanter analizi çalışmaları

Yapı malzemesi ölçeğinde YDE çalışmalarının uygulanması ve sorunlar incelendiğinde, bu konuda geliştirilmesi gereken başlıklar olarak: duyarlılık analizi, dağıtım ve veri kalitesi ve verinin bulunabilirliği bulunmaktadır (Guinee ve diğ, 1993). Veri yetersizliğinin olumsuz etkilerinin bahsedildiği bir diğer çalışmada BS EN 15804 ile üreticilerin tüm yaşam döngüsü sürecine dair verileri raporlaması ile bu sorunun azalacağı öngörülmektedir (Moncaster ve Symons, 2013). Bir diğer çalışmada küresel ya da yerel YDE çalışmalarında sistem modellenmesi, dağıtım (özellikle geri-dönüşüm evresinde) ve raporlamanın öneminden bahsedilir (Frischknecht, 2006). YDE çalışmalarının geliştirilmesine dair bir yol haritası çıkaran bir diğer çalışmada ise bu sürecin adımları olarak: YDE için temel verilerin derlenmesi, YDD bağlamında dağınık kontrol sistemi oluşturmak ve YDE'den YDD çalışması oluşturulması bulunmaktadır (Li ve diğ, 2014).

Yapı malzemesi ile ilişkili YDE çalışmalarının yoğun olduğu başlıklardan birisi veri kalitesine dair çalışmalardır. Bu grup çalışmaların içerisinde belirsizliklerin çözümüne dair çalışmaların oldukça yoğun olduğu görülmektedir (Boguslaw, 2014; Coulon ve diğ, 1997; Schuurmans, 2003). Veri kalitesinin yeterli olduğu ancak sınırların daha dar olduğu geleneksel yöntemleri geliştiren çalışmalar da literatürde yer almaktadır (Iosif ve diğ, 2010).

Literatür “yapı malzemesinin değerlendirilmesi için yapılan çalışmalar” başlığında incelendiğinde, hemen hemen tüm malzeme gruplarına dair bu çalışmaların yapıldığı görülür. Malzeme göz önüne alındığında genellikle sistem sınırlarının beşikten-kapıya (Barries ve diğ, 2012; Junghoon ve diğ, 2012) olduğu görülür. Beşikten-yapıma (Utama ve diğ, 2012) gibi daha özgün süreçleri kapsayan çalışmalar da vardır. Beşikten-kapıya sistem sınırları çalışmalarının ardından en yoğun çalışmaların tüm evreleri kapsayan çalışmalar olduğu görülür (Lippiat ve Ahmad, 2004).

Yapı malzemesi ile ilgili literatürde sıklıkla bahsedilen bir sorun da sistem sınırlarıdır. Sistem sınırlarının tanımlanması ise malzeme oluşum enerjisinin ortak bir anlayışla değerlendirilebilmesi için önemlidir. Sistem sınırları seçiminin, oluşum enerjisine etkisi incelendiğinde sınırlarının farklılaşmasının önemli olduğu görülür ve bu farklılaşmanın temel olarak: sadece birkaç yaşam döngüsü aşamasının dahil edilmesi (örneğin karşılaştırılan iki çalışmada nakliye ve geri-dönüşüm süreçlerinin dahil edilip edilmediği), yukarı ve aşağı yönlü akışların sürece ne kadar dahil edildiği ve bina bütününün veya bazı bileşenlerin hesaplamalarda göz önüne alınması sebeplerinden kaynaklandığı görülür (Dixit ve diğ, 2013).

Yapı malzemesinin oluşum enerjisinin değerlendirilmesinde geri-dönüşüm önemli bir değişken olarak görülmektedir (Harris, 1999). Geri kazanılmış kereste ve ahşap yer döşemelerinin incelendiği bir çalışmada, yeni ve geri kazanılmış malzeme kıyaslanmıştır ve geri-kazanılmış malzemenin çevresel etkilerinin çok daha düşük çıktığı görülmektedir (Bergman ve diğ, 2010). Ancak bazı çalışmalarda yaşam döngüsünün bazı evreleri emek yoğun bu süreçte katkılarının azlığı nedeniyle ihmal edilirler. İnşaat alanına malzemenin nakliyesi, bina yapımı, yenileme ve bakım, yıkım, atığın nakliyesi ve atığın yok edilmesi evrelerinin göz ardı edilmesi ile %75 daha az veri emeği ile %90 tamlıkta etki değerlendirme sonuçlarının elde edildiği görülmüştür (Pajchrowski ve diğ, 2014).

Yapı malzemesine dair yapılan YDD çalışmaları içerisinde zamana ilişkin kapsama dair çalışmalar da bulunmaktadır. Yapı malzemesi diğer bazı tüketim ürünlerinden farklı olarak çok geniş bir zaman dilimi içerisinde incelenmesi gereken ürünlerdir. Bu bağlamda envanter analizi çalışmalarını, üst ölçekte YDD yaklaşımı ile farklı şekillendiren dinamik YDE yaklaşımı ile salımların zamana ilişkin profillerini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır (Levasseur ve diğ, 2010).

Yapı malzemesi YDE çalışmaları içerisinde yerelliğe dair yapılan çalışmalar vardır. Veri toplanırken "coğrafi kapsam" olarak belirtilen alanlar arasındaki farklılıklar envanter analizi aşamasında oldukça önemlidir. Ülkeye/yerele özgü YDD çalışmalarının oluşturulması gerekliliği (Ferreira ve Mainier, 2015) ve bu bağlamda yerele özgü, sağlam ve şeffaf veri setlerinin oluşturulmasının önemi vurgulanmaktadır (Nebel ve diğ, 2008). Yerelliğin önemli olduğu konulardan birisi de bölgeler arası endüstriyel malzeme bileşenlerinin (çimento bileşenleri v.b) değişebileceğidir (Gursel ve diğ, 2014). Henüz envanter veri tabanı açısından yeterli çalışmanın/birikimin olmadığı coğrafyalarda başvurulan yöntemin, yerel olmayan verinin çalışmalarda kullanılması olduğu görülmektedir (de Eicker ve diğ, 2010). ecoinvent gibi veri tabanlarının aşağı ve yukarı yönlü akışlar açısından çok daha yeterli olduğunu, yerel veri tabanlarının bunlarla uyumlu bir şeklide geliştirilmesi gerekliliğini ifade eden çalışmalar vardır (de Eicker ve diğ, 2010). Eş veri tabanı seçimi ile veri tabanının yerelleştirilmesi de başvurulan yöntemlerden biridir. Eş veri tabanı seçimi için en önemli ölçüt şeffaflıktır ve şeffaflık birim süreç veri setlerinin varlığı olarak da ifade edilmektedir (Lesage ve Samson, 2016; Dixit ve diğ, 2010). Bunların yanı sıra ecoinvent veri tabanının genişliği, veri setlerine dair teliflerin korunması gibi ölçütler de seçim parametreleri olarak ikincil önemdedirler (Lesage ve Samson, 2016). Dünyada kullanılmakta olan YDD araçları incelendiğinde, araçlar içerisinde kullanılmak üzere farklı ülkelere göre geliştirilmiş veri tabanlarının varlığı dikkati çeker (URL-2; URL-3)

Yapı malzemesi envanter analizini inceleyen çalışmalar veri toplama yöntemlerine ve kullanılan araçlara dair bilgiler de içerir. Yapılan çalışmalarda kullanılan araçların genellikle SimaPro (Hubbard ve Bowe, 2010; Maureen ve diğ, 2005; Bovea ve diğ, 2007 ; Bergman ve diğ, 2010; Dong ve Ng, 2015) ve takiben GaBi (Herrmann ve Moltesen, 2015) olduğu görülmektedir.

Bu ölçekte veri tabanlarını inceleyen çalışmalar da bulunmaktadır. Veri tabanlarını irdeleyen çalışmalar içerisinde ecoinvent veri tabanına dair yapılan çalışmalar bulunmaktadır. ecoinvent veri tabanının temel yapısının anlatıldığı bir çalışmada merkezi veri tabanı, hesaplama şablonları, editör, yönetim aracı, sorgu aracı, veri formatı ve yerel veri tabanları olarak yedi bileşenin varlığından söz edilmektedir (Frischknecht ve Rebitzer, 2005). Bu çalışmanın yanı sıra daha detaylı olarak ecoinvent veri tabanının incelendiği bir diğer çalışmada kesim kuralları, sistem

sınırları, aşağı ve yukarı yönlü akışlara dair kurallar, veri kalitesi, veri toplama ve veri formatına dair metodolojik bilgiler verilmekte ancak dağıtım ve geri-dönüşüm konularının tartışmalı olduğu ifade edilmektedir (Frischknecht ve diğ, 2005). Veri tabanı oluşturulması için oluşturulmuş rehber dokümanlar da (örn: Global Guidance Principles For Life Cycle Assessment Databases - A Basis for Greener Processes and Products, vb.) literatürde bulunmaktadır (ed. Sonnemann ve Vigon., 2011).

Günümüzde yerleşmiş ve gelişmiş bazı veri tabanları bulunmaktadır. Yerel veri tabanı oluşturmak için var olan veri tabanlarının kullanımı veya bu veri tabanlarını bir arada kullanabilmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu bağlamda US LCI ve ecoinvent veri tabanlarının karşılıklı kullanımlarını inceleyen bir çalışma sonucunda veri tabanı oluşturulmasında, sonuçların güvenilirliği açısından oluşturulacak veri tabanlarının var olan veri tabanları ile uyumlu geliştirmenin önemi vurgulanmıştır (Suh ve diğ, 2016). SimaPro ve GaBi arasındaki ilişkiyi inceleyen bir başka çalışmada sonuçlardaki bazı farklılıkların değerlendirmeyi etkileyebilecek olduğu, bunun da en temel sebebi olarak envanter ve etki değerlendirme veri tabanlarındaki farklılıkların olduğu düşünülmektedir (Herrmann ve Moltesen, 2015).

YDE analizinin olası faydalarından birisi ürünlerin kıyaslanabilmesine olanak tanımasıdır. Ancak ürünlerin kıyaslanabilmesi için YDE çalışmasının birbirine denk kapsamlarda yürütülmesi gerekmektedir. Yapı malzemesinin oluşum enerjilerinin önemine değinen çalışmalarda bu anlamda kıyaslama yapabilmek için veri tabanlarındaki farklılıkların ortadan kaldırılması gerekliliği belirtilmiştir (Dixit ve diğ, 2010). Belirli ortaklıkların sağlanamadığı kıyaslamaların güvenilir olamayacağı, ve bu kıyaslamalardaki olası hataların bazı sebepleri olarak: veri formatları, veri güvenilirliği, sistem sınırları, kullanılan teknoloji ve üretim sisteminin coğrafi konumunu temsil etmeyen analitik yöntemler olduğunu ifade edilmektedir (Alejandro ve diğ, 2004).

Ürünler arası kıyaslamalara imkan verebilmek için çevresel ürün beyanları (ÇÜB) geliştirilmiştir. ÇÜB, sektörel bazda kuralları oluşturulan ve yapı malzemesi sektörü gibi çeşitliliği yoğun çalışma alanlarında, ürün gruplarını türler altında kıyaslanabilir duruma getirmek için geliştirilen bir yöntemin sonucudur (BS EN 15804:2012). Teorik olarak kıyaslama yapabilmek için oluşturulmuş bu yöntemlerin pratikteki güvenilirliği tartışmalıdır. İki farklı veri tabanı kullanılarak oluşturulmuş dört ayrı çevresel ürün beyanı incelendiğinde "yapı malzemesinin kıyaslanması açısından farklı veri

tabanlarının kullanılması" durumunda sonuçların kıyaslanamaz olduğunu ifade edilmektedir (Öztaş ve Tanaçan, 2017). BS EN 15804 ile uyumlu veri tabanlarının geliştirilmesi, karşılaştırmalar için önemlidir. Aynı zamanda, tutarlılığın arttırılması için, ürünlerin YDD çalışmalarının arka plan verileri önemlidir. Bu bağlamda, ulusal ÇÜB programı arka plan çalışmaları oluşturulmalı ve kullanılmalıdır (Wittstock ve diğ, 2011, s. 128). Meslek birlikleri tarafından kullanılmak üzere ortak bir akıl ile oluşturulan çevresel ürün beyanlarında metodolojiler uluslararası gerekliliklere uygun geliştirilir. İtalyan çimentosu için ürün-türü beyanı için işlevsel birim, sınırlar, dağıtım kuralları, atık yönetimi gibi konularda kararların verildiği bir çalışmada, ürüne-özgü beyanlardan, ürün-türüne dair genel beyanlara geçilirken hesap kuralları, veri kalitesi ve etki kategorilerine göre kurallarının yeniden değerlendirilmesi gerekliliği ifade edilmiştir (Strazza ve diğ, 2010).

1.2.3 Türkiye'de yapı ve yapı malzemesi yaşam döngüsü envanter analizi çalışmaları

Türkiye'deki yaşam döngüsü çalışmaları incelendiğinde konutlar ve yapı malzemesi bazında enerji ve maliyet ile ilişkili çalışmalar olduğu görülür (Çetintaş, 2017; Bayazıt, 2016; Özçuhadar, 2007). Bu çalışmaların yanı sıra konut projeleri ölçeğinde yaşam döngüsü çalışmaları (Aral, 2012) ve yapı elemanı ölçeğinde çalışmalar (Ceylan, 2012; Kaya, 2010) ile karşılaşılır. 2014 yılında yapılan bir doktora çalışmasında (Alptekin, 2014) farklı ölçütlerin kıyaslanmasıyla malzeme seçimi için karma bir model sunulmuştur. Bir YDD modeli oluşturarak PVC doğramanın değerlendirildiği (Tuna Taygun, 2005) ve bu model üzerinden tuğla için üretici verilerinin derlendiği ve değerlendirildiği bir çalışmalar bulunmaktadır (Akın, 2018). Yapı malzemesi ölçeğinde (Banar ve Çokaygil, 2011; Esin ve Coşgun, 2004) yapılan çalışmalarda ise malzeme envanter analizlerine dair verilerin literatürden ya da programlardaki var olan verilerden elde edildiği görülmektedir. Türkiye'de, sürdürülebilir yapı üretimleri için eksiklerden biri olarak olarak, malzeme gerçeklerine ve ülke koşullarına uygun bir değerlendirme sisteminin olmadığı belirtilmektedir (Özmehmet, 2007; Ciravoğlu, 2005). Türkiye için, sistem sınırlarının genişletilebilmesi ve daha bütüncül sonuçlara ulaşılabilmesi gibi sebeplerle, GaBi, SimaPro gibi YDD araçları ile uyumlu veri toplanmasının uygun olduğu belirtilmiştir (Tanaçan, 2011).

Türkiye'de çevre etiketi konusunda çalışmalar 2019 yılında başlamıştır. Ocak 2021 tarihinde beş ürün/hizmet kriteri oluşturulmuştur. Bu beş kriter içerisinde yapı

malzemesi ile ilişkili olarak sadece “seramik kaplama ürün grubu” bulunmaktadır (URL-4).

Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi ve Boğaziçi Üniversitesi Sürdürülebilir Kalkınma ve Temiz Üretim Merkezi’nin işbirliği ile, “Ulusal Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Veri Tabanının Geliştirilmesi Projesi” yürütülmektedir. Bu veri tabanı kapsamında ilk aşama olarak enerji ve evsel/endüstriyel su elde edilmesi süreçleri değerlendirilecektir (URL-5).

1.3 Amaç ve Hipotez

Literatür çalışmalarında yapı ve yapı malzemesi ölçeklerinde incelenen literaür çalışmalarında, envanter analizinin içerisinde geliştirilmesi gereken başlıklarının olduğu göze çarpmaktadır. Bu çalışmaların yanısıra, hem yerel çalışmaların önemini vurgulayan, hem de karşılıklı-kullanım için önemli başlıkları belirten çalışmalar bulunmaktadır. Literatür çalışmasında günümüzde yerel bilgilere bağlı ancak küresel ölçekte diğer veri tabanları ile uyumlu geliştirilen veri tabanlarının önemi görülmektedir. Ancak Türkiye için yapı malzemesi sektörünü temel alan bir çalışma bulunmamaktadır. Türkiye’de yapılan YDD çalışmalarının daha doğru sonuçlara ulaşabilmesi ve sürdürülebilir inşaat etkinliklerinin geliştirilebilmesi için Türkiye için yerel özellikleri (malzeme, teknoloji, mevzuat vb.) göz önüne alınarak üretilmiş bir veri tabanının eksikliği göze çarpar. Çalışmada YDD çalışmalarına bir altlık oluşturacak ve malzemenin kıyaslanmasına izin verecek çalışmaların yapılacağı bir veri tabanı için gereklilikler ve Türkiye’nin güncel koşulları ve yönetmelikleri göz önüne alınarak bir envanter analizi modeli geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu modelin var olan temel envanter veri tabanları ile uyumlu geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu envanter analizi çalışmasında literatür analizi çalışmasının ardından, Türkiye koşulları incelenmiş ve envanter analizinde önemli değişkenler ve bunların diğer seçilen veri tabanları ile uyumu göz önüne alınmıştır.

Yapı malzemesi üreticisinin mimara sunmakla yükümlü olduğu bilgiler malzemenin tüm özelliklerinin yanı sıra çevresel özelliklerini de yansıtmalıdır. Dolayısıyla toplam malzeme özelliklerinin kıyaslanabilir bir veri tabanı ile mimarın kullanımına sunulması gerekmektedir. Bu çalışmada, üreticiden sağlanan malzemeye dair bilgiler ile mimarın ürünleri karşılaştırabilmesi esas alınarak, ürün özellikleri üzerinden en

uygun malzemeyi seçmesinin sağlanması ve üreticinin de bu kıyaslama dinamikleri ile ürün çevresel özelliklerini geliştirebilmesi hedeflenmektedir.

Bu çalışma, mimarlık-inşaat sektöründe birbirinden kopuk gibi görülen malzeme üreticisi ve mimarı tek bir platformda bir araya getirmeyi amaçlanmaktadır. Bu amaçla bir veri tabanı geliştirilerek bu iki sektörün birbiri ile daha sağlam bir şekilde ilişkilendirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada oluşturulan modelde ilk adım olarak, yapı malzemesi üreticisinin malzemenin ekolojik özelliklerinin değerlendirilmesine ilişkin sunması gerekli olan (yükümlü olduğu) bilgileri belirli bir kapsam ve biçimde (formatta) derlemesi sağlanmıştır. İkinci adım olarak üretici tarafından derlenen bu verilerin etki değerlendirilmesi adımına aktarılmak üzere, envanter analizi modelinde işlenmesi sağlanmıştır. Bu verilerin oluşturulması ile alternatif malzemeler arasında ekolojik etkisi en düşük olanı seçmesi beklenen mimarın kullanımına hizmet edecek envanter analizi modeli ile ilişkili veri tabanının ilkesel kararları ortaya konulmuştur. Sonuç olarak çalışmada:

- Yapı malzemesi sektörüne odaklanan
- Malzemenin sebep olduğu çevresel etkilere dair nicel bilgilere ulaşan
- Seçilmiş küresel veri tabanları ile uyumlu
- Türkiye'nin yerel özellikleri ile ilişkilendirilmiş
- Mimar ve malzeme üreticisi arasında bir iletişim aracı olabilecek veri tabanı ile ilişkili

bir YDD envanter analiz modeli oluşturulması amaçlanmıştır.

Dünyanın farklı ülkelerinde, yerel özelliklere göre şekillendirilmiş YDD envanter analizi çalışmalarının Türkiye yapı malzemesi sektörü için oluşturulması, Türkiye mimarlık ve inşaat sektörlerinde yapı malzemesinin çevresel etkilerinin doğru değerlendirilmesini sağlayacaktır. Bu nedenle Türkiye için, ülke koşullarına uygun ve küresel araçlarla uyumlu envanter analizi modeli oluşturulmalıdır.

1.4 Kapsam

Tez çalışmasında geliştirilen model tüm yapı malzemesine uygulanabilir şekilde geliştirilmiştir. Yapı malzemesinin envanter analizinde çevre etkisinin değerlendirildiği sistem sınırının, "beşikten-beşiğe" kapsamında göz önüne alınması süreci tam bir döngü içerisinde değerlendirmeyi sağlayacaktır. Ancak envanter analizi

çalışmasının ilk aşaması olan bu çalışmada, bu anlamda bütüncül bir bakışla konuya yaklaşılmasına rağmen, envanter analizine esas olacak verinin elde edilebilirliği açısından "beşikten-kapıya" sistem sınırı içinde yer alan birim süreçleri ve geri-dönüşüm sürecinin kapsandığı bir model oluşturulmaktadır. Modelin farklı veri tabanlarından sağlıklı bir şekilde beslenebilmesi ve gerekli durumlarda bu veri tabanlarında uygun kullanımının sağlanabilmesi için, seçilmiş veri tabanları ile olabildiğince uyumlu bir modelin oluşturulması hedeflenmektedir.

Çalışmada hammadde elde edilmesi, malzeme üretimi süreçleri ve yok edilmesi süreci göz önüne alınmıştır. Sürece bütüncül bakmak malzemenin doğru değerlendirilmesi için önemlidir. Kapsam dışı bırakılan yapı üretim ve kullanım süreçlerinde: şantiye alanının üretim tesisine uzaklığı, kullanılacak malzeme miktarı vb. değişkenler proje özelinde değerlendirilmesi gereken konulardır. Bu bakış açısıyla malzemenin üretim ve geri dönüşüm süreçlerini kapsayan bir değerlendirmenin, YDE çalışmasının ilk adımı olacak bu modelde veri toplanmasına harcanan emek, modelin ilk aşamasının uygulanabilirliği ve yapı malzemesi için temel verilerin derlenmesi ve çevresel etkilerin değerlendirilmesi dengesi açısından optimum çözüm olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada gerçekleştirilecek envanter analizi:

- Mimarlıkta kullanılan tüm yapı malzemesini kapsayacak,
- Hammaddesinin elde edilmesi, malzeme üretimi ve yok edilmesi süreçlerini içerecek,
- Türkiye koşullarını dikkate alacak ve
- Diğer veri tabanları ile uyumlu olacak

şekilde kurgulanmıştır.

1.5 Malzeme ve Yöntem

Çalışma kapsamında ilk olarak literatür araştırması yapılmıştır. Literatür araştırmasında amaçlanan, envanter analizi yapılması sırasında ve amaç ve kapsamda belirlenen "küresel veri tabanları ile uyumlu olması" açısından dikkat edilmesi ve literatürde sorunlu başlıklar olarak belirlenmiş başlıkların belirlenmesidir.

Bu çalışmanın ardından YDD ve YDE ile ilişkili standartlar (ISO 14040 serileri) ve çevresel etkilerin değerlendirilmesi için yapı malzemesi özelinde oluşturulmuş standart (BS EN 15804) incelenmiştir. YDE, YDD ile ilişkili olarak geliştirildiği için YDD yaklaşımları incelenmiş ve yapı malzemesi ile ilişkili olarak seçilmesi gereken YDD yaklaşımı belirlenmiştir. YDE hesaplama yöntemleri de YDE verisinin toplanması ile ilişkili olarak ve YDD aracı ve YDE modeli içerisinde hesaplamalar ile ilişkili bir üst karardır. Bu açıdan YDE hesaplama yöntemleri incelenmiş ve Türkiye koşulları için oluşturulan ilk YDE envanter analizi modeli için uygun YDE hesaplama yöntemi belirlenmiştir.

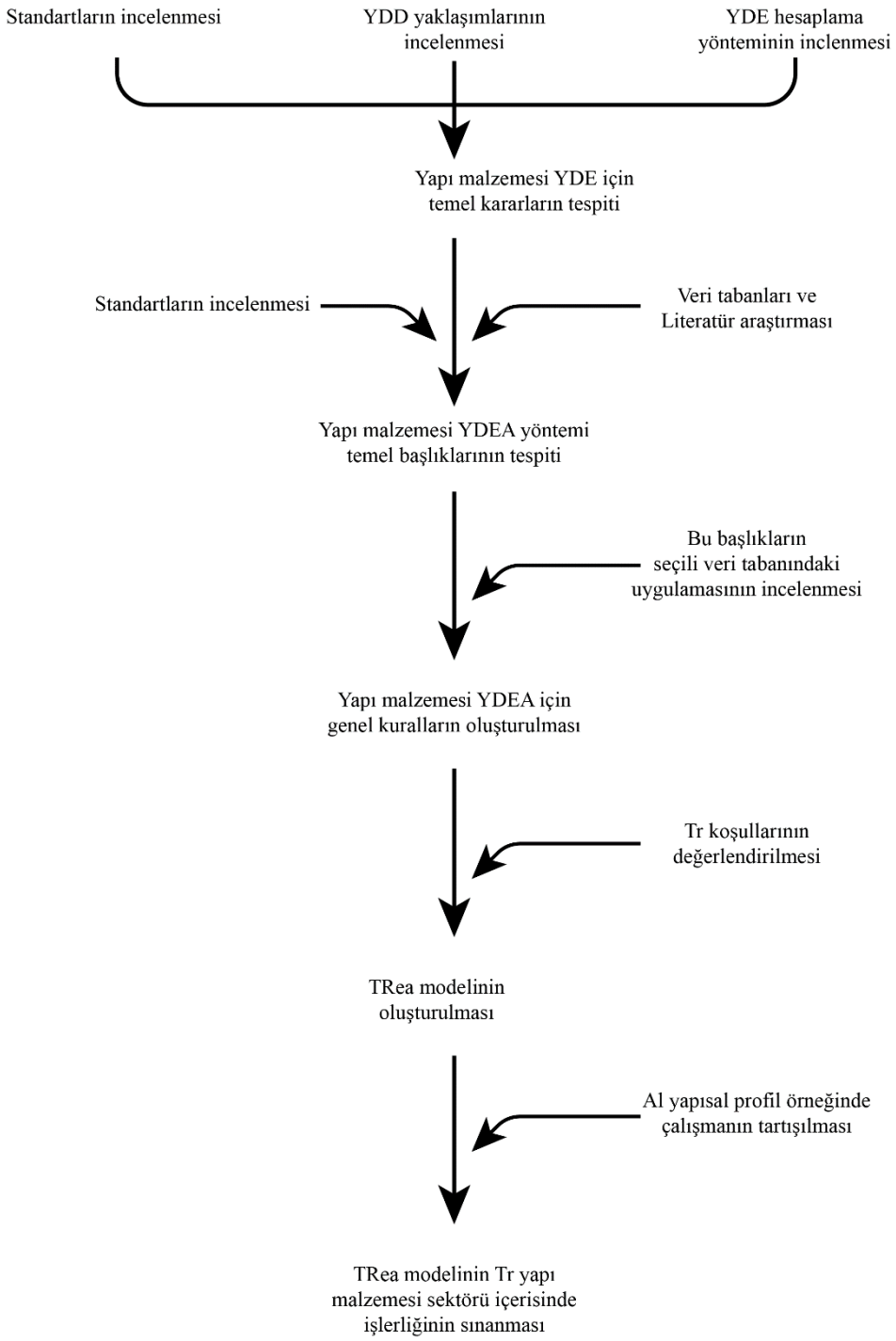
Başlıkların oluşturulmasının ardından, Türkiye'de envanter analizi için öncelikle ISO 14040 serilerindeki başlıklar göz önüne alınmıştır. Bunun yanısıra, literatürde yoğun kullanımıyla dikkat çeken GaBi ve ecoinvent veri tabanlarının ortak göz önüne aldığı başlıklar ve literatürde envanter analizi ve/veya veri tabanı oluşturulması ile ilgili geliştirilmesi gereken başlıklar göz önüne alınmıştır. Bu başlıklar ISO 14040 serilerinde belirtilen temel başlıklar ile ilişkilendirilmiştir. Bu başlıklarda, Türkiye için hem küresel çalışmalar ile uyumlu, hem yerel özellikleri yansıtabilecek bir envanter analizi yapılabilmesi ve bunun sonucunda oluşabilecek veri tabanı için değerlendirilmiş ve uygulanması için kararlar önerilmiştir. Bu başlıkların uygulanmasına dair kararlar literatürde güncel ve yapı malzemesi veri tabanlarına odaklanan Martinez- Romacora ve diğ (2016) çalışmasında değerlendirilen 10 veri tabanı (ecoinvent, GaBi, ELCD/ILCD, Plastics-Europe, Athena, US LCI, Base Carbone, Bedec, CPM LCA ve Probas) üzerinden değerlendirilmiştir. Bu 10 veri tabanı üzerinden mümkün olduğu kadar fazla veri tabanını kapsayacak kurallar önerilmiştir. Bu kuralların ve başlıkların envanter analizindeki akışları ve ilişkilerini gösteren bir akış şeması oluşturulmuştur (Ek A).

Bu kuralların oluşturulmasının ardından Türkiye koşulları göz önüne alınmıştır. Türkiye'de geçerli kanunlar ve yönetmelikler, üretim sistemi koşulları ve ekonomik koşullar göz önüne alınarak oluşturulmuş genel akış Türkiye koşulları ile değerlendirilerek, Türkiye için bir yapı malzemesi envanter akış modeli oluşturulmuştur (Ek B).

Model kurgusunun oluşturulmasının ardından örnek yapı malzemesi olarak alüminyum (Al) yapısal profiller üzerinden modelin işlerliği irdelenmiştir. Model kurgusunun Al yapısal profiller üzerinden yapılmasının sebepleri: model akışının

hammadde üreticisi ve ürün üreticisi arasındaki ilişkilerin değerlendirebilmesi; malzeme geri-dönüşüm süreçlerinin izlenebilmesi ve enerji yoğun bir malzeme örneğinde model akışının sınanmasını sağlamasıdır.

Tez çalışmasında kullanılan kuramsal yöntemin adımları Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 : Çalışmada kullanılan kuramsal yöntemin adımları.

2. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ ENVANTER ANALİZİ

YDD farklı ürün veya hizmetlere uygulanabilen bir yöntemdir. Farklı ürünlere uygulanan bir yöntem olduğu için, YDE sürecini de etkileyen farklı YDD modelleme yaklaşımları ve YDE analizi hesaplama yöntemleri bulunmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde, YDD ve envanter analizi ile ilişkili bu temel kararlar ile ilgili standartlar, modelleme yaklaşımları ve veri hesaplanması yöntemleri incelenmiştir.
Bu incelemeler, yapı malzemesi sektörü ile ilişkili olarak değerlendirilerek, yapı malzemesi envanter analizi modeli ile ilgili temel gerekler ve yaklaşımlar kararlaştırılmıştır.

2.1 YDE Analizi Tanımı ve İlgili Standartlar

Temel olarak ISO 14040 serileri ile tanımlanan YDD çalışmaları, bir ürün/malzeme sürecinin tamamını değerlendiren nicel çalışmalardır. Bu standartlarda YDD çalışmaları için 4 adım tanımlanmıştır:

- Amaç ve kapsam
- Envanter analizi
- Etki değerlendirmesi
- Değerlendirme

Çalışmanın amacıyla paralel olarak temel kararların (çalışmaya dair yaklaşımlar, kapsam, sınırlar, ürün/hizmet tanımı vb.) verildiği evre amaç ve kapsam adımıdır. Bunu izleyen adım süreçteki girdilerin tespit edildiği ve çıktıların hesaplandığı envanter analizi evresidir. Envanter analizi sonuçları, tek başına yorum yapmaya olanak sağlayabildikleri gibi, üçüncü adım olan etki değerlendirmesi adına bilgi aktararak YDE sonuçlarının belirli etki başlıkları altında toplanıp değerlendirilmesi sağlanabilir. Son evre ise belirsizlik ve varsayımlar göz önüne alınarak sonuçların yorumlandığı adımdır (ISO 14040:2006; ISO 14041:1998; ISO 14044:2006).

Yaşam döngüsü değerlendirmesi envanter analizinde temel olan, ürün ya da hizmete dair süreçlerin girdi ve çıktılarının ölçülerek çevresel etkilerinin hesaplanmasıdır. Girdiler en temelinde hammadde, su ve enerji olarak değerlendirilirken, çıktılar ise

toprağa, havaya ve suya olan salımlardır. Bunların yanısıra güncel çalışmalarda arazi kullanımı, altyapı, gürültü, insan emeği gibi farklı değişkenlerin girdi olarak değerlendirildiği ve bunların sebep oldukları farklı çıktıların da değerlendirilmesi mümkündür (ISO 14044:2006, s. 10).

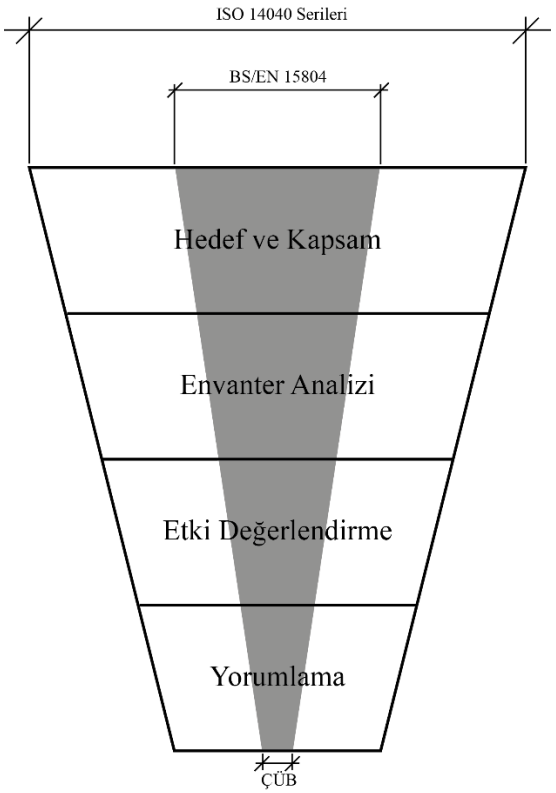
ISO standartları içerisinde özellikle ISO14041 ve ISO 14044 ile tanımlanan envanter analizi adımında, uygun ve gerekli verinin toplanması süreci, yoğun emek ve zaman harcanmasını gerektirir. Bu adım kendi içerisinde tekrarlı bir adımdır çünkü başlangıçta hedeflenen süreç ile pratikte karşılaşılan sürecin örtüşüp örtüşmemesine bağlı olarak, çalışmanın sınırlarının yenilenip, oluşan koşullara göre çalışmanın tekrarlanması olasıdır (ISO 14041:1998, s. 10).

ISO 14041 standardında "amaç ve kapsam" adımından sonra gelen envanter analizinin temel adımları "veri toplanması", "veri hesaplanması" ve "veri dağıtımı" adımlarıdır. Veri dağıtımı ISO 14040 serilerinde veri toplanması ve veri hesaplanması adımlarına paralel olarak uygulanan bir adımdır (ISO14041:1998, s. 8-13). Bu süreçler, envanter analizi içerisinde:

- Veri toplanması
  - Veri toplanması için hazırlık
  - Veri toplanması
- Hesaplama
  - Verinin onaylanması
  - Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi
  - Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi ve kümelendirme
  - Sistem sınırlarının gözden geçirilmesi
- Dağıtım

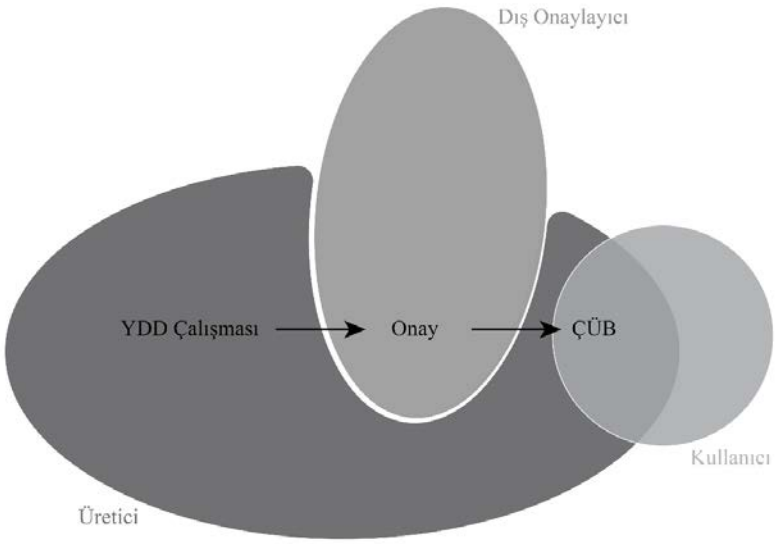
aşamalarından oluşmaktadır (ISO14041:1998, s. 8-13).

ISO 14040 serilerine ek olarak, BS EN 15804 standardı yapı malzemesinin YDD bakışıyla değerlendirilmesini sağlayan daha özelleşmiş bir standarttır. Bu standart; ürün kategori kurallarının oluşmasını sağlayarak, çevresel ürün beyanlarının (ÇÜB) belli kurallar içerisinde yapılmasını sağlar (BS EN 15804:2012). Geniş YDD ve daraltılmış ÇÜB çalışmalarının ilişkisi şematik olarak Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : YDD ve ÇÜB ilişkisi (ISO 14040 serileri, BS EN 15804:2012).

ÇÜB'ler üretici verilerinin, bir dış onaylayıcı tarafından denetiminin yapılmasıyla kullanıcıya sunulan çalışmalardır (URL-6). Bu çalışmalar, üretici ile kullanıcı arasında bir arayüz işlevi görürler. YDD çalışmasından ÇÜB'e dönüşen çalışma ve bu süreçte üretici-dış onay mekanizması ve kullanıcı ilişkileri şematik olarak Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : YDD çalışma ve ÇÜB arasındaki ilişkiyi ve süreçteki mekanizmaları gösteren şema (BS EN 15804:2012; URL-6).

2.2 YDE Analizi Modelleme Yaklaşımları

YDE modellemesinde, YDD çalışmasının kapsamı ile ilişkili olarak farklı yaklaşımlar bulunmaktadır.

2.2.1 Niteleyici YDD

Sisteme ait üretim sürecine bağlı akışların envanterinin yapılmasına niteleyici YDD denir. Niteleyici YDD incelenen sisteme ilişkin çevre etkisine sebep fiziksel akışları (girdi-çıktıları) göz önüne alır ve bu akışlardan oluşan çevresel zararları ortaya çıkarır (Kua, 2012, s. 510; Ekvall, 2010, s. 1,4). Niteleyici yaklaşım, mevcut ürünlerin pratikte var olan süreçlerini analizde kullanır ve değerlendirir.

2.2.2 Sonuca bağlı YDD

Sonuca bağlı YDD çalışmalarında, yaşam döngüsünde meydana gelebilecek değişikliklere göre çevresel girdi-çıktı akışlarının nasıl yön değiştirebileceği öngörürülür (Kua, 2012, s. 510) ve geleceğe dair kurulan senaryoların sonuçlarının değerlendirilebilmesini amaçlanır. Bu yaklaşım, olası kararlara bağlı olarak çevresel akışların ne şekilde değişeceğinin tahminidir (Ekvall, 2010, s. 4).

2.2.3 Diğer modelleme yaklaşımları

Diğer YDD yaklaşımları içerisinde "dinamik YDD yaklaşımı" ile zamansal farklılıkların yarattığı belirsizlikler ortadan kaldırılabilir. Bu yaklaşımda, her salıma dair YDE sonucu, zamana dair bir fonksiyon olarak ifade edilir (Levasseur ve diğ, 2010, s. 3169). Bunun yanısıra geleceğe yönelik YDD yaklaşımı ile çalışmalar günümüzde tartışılmaktadır.

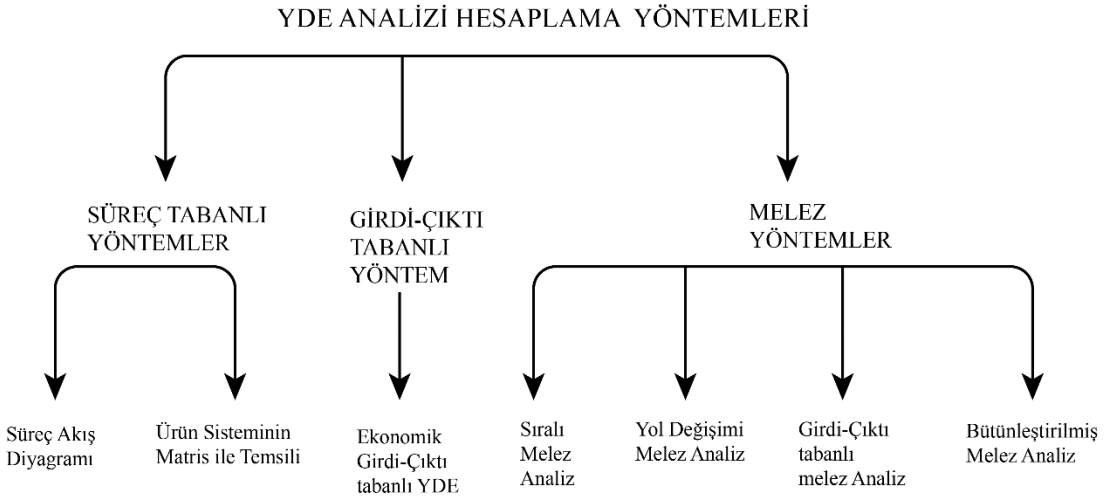
2.3 YDE Analizi Hesaplama Yöntemleri

Günümüze kadar geliştirilen YDE hesaplama yöntemleri incelendiğinde temel olarak süreç tabanlı ve girdi çıktı tabanlı olmak üzere iki yaklaşım üzerinden farklı yöntemlerin geliştirildiği gözlenir (Suh ve Huppes; 2005, Crawford ve diğ.; 2017).

Şekil 2.3'de bu iki ana yöntem üzerinden kurgulanan yedi temel hesaplama yöntemi gösterilmektedir (Suh ve Huppes, 2005; Crawford ve diğ, 2017):

- Süreç akış diyagramı
- Ürün sisteminin matris ile temsili
- Girdi-çıktı tabanlı YDE yöntemi

- Sıralı melez analiz
- Yol değişimi melez analiz
- Girdi-çıktı tabanlı melez analiz
- Birleştirilmiş melez analiz



Şekil 2.3 : Suh ve Huppes (2005) ve Crawford ve diğ. (2017) çalışmalarından oluşturulan YDE analizi hesaplama yöntemleri şeması.

Süreç tabanlı ve girdi-çıktı tabanlı sistemler geleneksel yöntemler olarak tanımlanır, melez yöntemler ise kendilerinden önce gelen yöntemlerin eksiklerini ya da sonuç kapsamını iyileştirmek için bu yöntemlerin birleştirilmesi ile elde edilmiş yöntemlerdir (Suh ve Huppes, 2005, s. 691; Crawford ve diğ., 2017, s. 1, 3). Bu yöntemlerden ilk ikisi (süreç akış diyagramı ve ürün sisteminin matris ile temsili) süreç tabanlı analiz yöntemleri olarak da sınıflandırılır (Suh ve Huppes; 2005, s. 691).

2.3.1 Süreç tabanlı YDE

Süreç tabanlı YDE hesaplamalarında temel alınan süreç akışlarıdır. Bu yöntemde, küçük parçalara ayrıştırılan sistem, aşağıdan-yukarıya bir yaklaşım ile incelenir (Crawford ve diğ., 2017, s. 3). Sistem kurgusu bu akışlar üzerinden ilerletilerek hesaplamalar yapılmaktadır. Hesaplamaların yapılmasındaki yöntem farklılığı ile birbirilerinden ayrılırlar.

2.3.1.1 Süreç akış diyagramları

Bu hesaplama yöntemlerinden *"süreç akış diyagramı"* yöntemi YDD uygulayıcıları arasında en yaygın kullanılan yöntemdir ve bir ürün sistemindeki süreçlerin birbirlerine madde akışları ile bağlantılı olması temeline dayanır. Bu yöntemde süreç akış diyagramlarında kutular süreçleri, oklar madde akışlarını ifade eder ve her süreç

girdiler ve çıktılar arasındaki oranlarla ifade edilir. Basit matematiksel işlemler kullanılarak belirli bir fonksiyonel birimi oluşturmak için gerekli ürünler ve çıktıları hesaplanarak YDE'i oluşturulabilir. Bu "süreç akış diyagramı" yöntemi ile envanter hesaplamasında geriye dönük hesaplamalar da "sonsuz geometrik diziler" yöntemi ile envanter hesabına katılarak daha kapsamlı ve doğru hesaplamalar yapılabilir (Suh ve Huppes; 2005, s. 688-689).

2.3.1.2 Ürün sisteminin matris olarak gösterilmesi

"*Ürün sisteminin matris ile temsili*" yöntemi, YDE yöntemlerinde oldukça sık kullanılan yöntemlerdendir. Bu yöntem matris inversiyon yöntemi ilk olarak Heijungs tarafından kullanılmıştır. Bu yöntemde Heijungs lineer denklemleri çözmek için matris sisteminden faydalanır. Bu sistemde oluşturulan "A" teknoloji matrisinde her a_{ij} elemanı *j* süreci için *i*'nin temsil ettiği girdi ya da çıktıları ifade eder. "B̃" çevresel inversiyon matrisinde b_{ij} elemanı *j* süreci için *i*'nin yaptığı salımları ya da tüketimleri ifade eder. "k" ise işlevsel birimi vektör olarak ifade eder. Bu matrisler kullanılarak, M̃ doğrudan ve dolaylı çevresel müdahale matrisi olmak üzere sistemin envanter hesaplaması (2.1) yapılır (Suh ve Huppes; 2005, s. 689).

$$\tilde{M}=\tilde{B}.\tilde{A}^{-1}.\tilde{k} \qquad (2.1)$$

Matrisin geriye doğru genişletilmesi ile bir önceki sistemde sonsuz geometrik diziler yöntemi ile hesaplanan daha kapsamlı envanter hesabı da yapılabilir (Suh ve Huppes; 2005, s. 689). Ancak çok girdi-çıktılı süreçlerin hesaplamasında dağıtım yapılmış girdi ve çıktılar kullanılmalıdır çünkü çok girdi-çıktılı ürünlerin hesaplanmasında, matris kare matris özelliğini kaybeder ve hesaplama yapılamaz (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 39). ecoinvent v2 ve ecoinvent v3 içerisinde, verinin hesaplanmasında matris inversiyon yöntemini kullanmaktadır (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 39; Weidema ve diğ, 2012, s. 8).

2.3.2 Ekonomik girdi çıktı tabanlı YDE

Ekonomik girdi-çıktı tabloları tabanlı YDE, makro-ekonomi tabanlı yukardan aşağıya bir yaklaşımdır (Crawford ve diğ, 2017, s. 3). Suh ve Huppes (2005) çalışmasında detaylı anlatılan yöntem süreç tabanlı YDE yöntemlerinden bütün ekonomideki geriye doğru akışları da kapsayabilmesi açısından ayrılır. İlkesel olarak ekonomideki tüm süreçler birbirleriyle doğrudan ya da dolaylı olarak bağlantılıdır. Ancak bu kapsamı sağlayacak girdi-çıktı tabanlı hesaplamalarda sadece kullanıcı öncesi dilim hesaplanabilir. Bunun yanı sıra ürün sistemi içerisinde ithal edilen maddelerin miktarı

göz ardı edilebilir olmalıdır. Ayrıca endüstri tabanlı girdi-çıktı tablolarının oluşturulması genellikle beş yıla kadar sürdüğü için, burada elde edilen veriler süreç tabanlı envanter analizinde kullanılan verilere göre daha eskidir. Girdi-çıktı tabanlı envanter analizinin bir diğer problemi de, girdi-çıktı tablolarında bazı sektörlerin aynı grup içerisinde düşünülmesi ve bunun kümelendirme açısından sorunlara sebep olabilmesidir. Bütün bunların yanı sıra, girdi-çıktı tablolarının envanter analizinde kullanılabilmesi için uygulanabilecek sektörel çevresel verinin ülkeler bazında hesaplanmış olması gerekmektedir (Suh ve Huppes, 2005, s. 690-691).

2.3.3 Melez yöntemler

Suh ve Huppes'in çalışmasında geleneksel yöntemler kendi içerisinde değerlendirildiğinde süreç tabanlı hesaplama yöntemlerinin daha kesin ve detaylı süreç bilgisi ve daha güncel verilerle oluşturulduğu, buna karşın girdi-çıktı tabanlı envanter analizi yöntemlerinin ulusal bazda daha geniş bir alanı kapsayabildiği ve daha hızlı olduğu görülür. Bu yöntemler üzerine geliştirilen melez yöntemlerde, önceki yöntemler birleştirilmiştir (Suh ve Huppes, 2005, s. 691). Konuya dair bir başka çalışmada Suh ve Huppes (2005) çalışmasına ek olarak "yol değişimi melez analiz" yöntemi de melez yöntemler içerisine eklenmiştir (Crawford ve diğ, 2017, s. 21-24).

2.3.3.1 Sıralı melez analiz

"Sıralı melez analiz" yönteminde, süreç tabanlı yöntem üzerine kurgulanan sistemde süreç verisi ve ekonomik girdi-çıktı verileri bir arada kullanılır (Crawford ve diğ, 2017, s18). Bu yöntemde yukarı yönlü önemli akışların yanı sıra, kullanım ve yok etme aşamalarında da süreç tabanlı analiz yöntemi kullanılarak, bu yöntemle elde edilemeyen verilerin tamamlanması için ekonomik girdi-çıktı tabanlı analiz yöntemi kullanılır (Suh ve Huppes, 2005, s. 691).

2.3.3.2 Yol değişimi (PXC - path exchange) melez analiz

Crawford ve diğ. (2017) çalışmasında "Yol değişimi melez analiz" yöntemi, ekonomik girdi-çıktı matrisini, noktalara ayırmak olarak tanımlanır. Bu şekilde, her bir nokta bir mal ya da hizmeti tanımlayan bir ekonomik girdi-çıktı sektörünü gösterir. İncelenen sektör ile ilişkilenen nokta serileri "yol" olarak adlandırılır. Bu şekilde süreç verisinde belirli işlemlere dair noktalarda değişiklikler yapılabilir. Bu değişiklikler ile işlemin değeri ya da işlem ile ilgili çevresel akışlar değiştirilebilir (Crawford ve diğ, 2017, s. 21).

2.3.3.3 Girdi-çıktı tabanlı melez analiz

"*Girdi-çıktı tabanlı melez analiz*" yönteminde genellikle iki farklı uygulama vardır ancak her iki uygulama da ekonomik girdi-çıktı tablolarında endüstri sektörlerinin ayrıştırılmasına (matris bileşenlerinin parçalanmasına) dayanır (Suh ve Huppes, 2005, s. 691-692; Crawford ve diğ, 2017, s. 25). Bu parçalanma sonucunda yukarı yönlü akışlar ve satış ile ilgili bilgiler tahmin edilerek matrise eklenebilir. Benzer şekilde çevresel müdahale matrisinin de dağıtılmasıyla, detaylı salım bilgileri eklenebilir. Bu ayrıştırmaların defalarca yapılmasıyla ekonomik girdi-çıktı tablosu, detaylı bir analiz yapılabilir hale getirilebilir. Kullanım ve yaşam sonu aşamalarının sınırlara dahil edilebilmesi için sıralı melez analiz ile birleştirilmesi gerekir (Suh ve Huppes, 2005, s. 692).

2.3.3.4 Bütünleştirilmiş melez analiz

"Bütünleştirilmiş melez analiz" yönteminde ise, süreç tabanlı envanter hesaplaması yöntemine ek olarak girdi-çıktı tabloları kullanılır. Bu yöntemde ürün sisteminin matris ile temsilinde kullanılan A teknoloji matrisinin yanı sıra, yukarı yönlü akışları temsil eden X matrisi ve aşağı yönlü akışları temsil eden Y matrisleri bulunur. A matrisinin ürünün sürecindeki bütün aşamaları (kullanım ve yok etme dahil) içermesi sebebiyle, sıralı melez analizin bu sürece dahil edilmesine gerek yoktur (Suh ve Huppes, 2005, s. 692). Matris hesaplamalarının kullanıldığı bu yöntemde, ekonomik girdi-çıktı tablolarının kullanımı ile kesimlerden oluşan hataların bertaraf edilmesine çalışılır (Crawford ve diğ, 2017, s. 28).

2.4 Bölüm Sonuçları

Yapı malzemesi YDE analizlerinde ve bu analizler sonucunda oluşturulan YDD, ÇÜB vb. diğer çalışmalar için malzemenin mevcut koşullarının değerlendirilmesi gereklidir. Bu bakış açısı ile YDE analizinde çoğunlukla niteleyici YDD yaklaşımlarının kullanıldığı görülmektedir.

Yapı malzemesi çalışmalarının hesaplama yöntemleri değerlendirildiğinde, çalışmaların öncelikle süreç tabanlı YDE yöntemleri ile başladığı, ardından gerekli aşamaların ekonomik girdi-çıktı çalışmalarını da değerlendiren melez yöntemler ile tamamlandığı görülmektedir. Ancak ekonomik girdi-çıktı tabloları tabanlı sistemler, tekil ürün için değil, ürün grupları için yapıldığından, ürünün çevresel etkilerinin değerlendirilmesine dair çalışmalarda kullanımları uygun görülmemektedir. Verilerin

bütün YDD evreleri kapsamında elde edilebilmesini sağlamak için süreç tabanlı yöntemler ile ekonomik girdi-çıktı yöntemlerinin bir arada kullanıldığı melez yaklaşımların çalışmalar içerisinde giderek artan bir oranda olduğu görülmektedir. Ancak sistem sınırlarının kapsamı ekonomik girdi-çıktı analizlerinin de dahil edilmesi ile genişletilmiş olsa da süreç verisini tamamen ortadan kaldıracak bir model oluşturulamadığı, dolayısıyla kaliteli süreç verisinin envanter sonuçlarının güvenilirliği için önemli olduğu görülmektedir (Crawford, 2008).

Dolayısıyla yapı malzemesi YDE analizi çalışmalarının başlangıcında niteleyici yaklaşım ve süreç tabanlı hesaplama yöntemlerinin uygun olduğu düşünülmektedir.

3. YAPI MALZEMESİ YAŞAM DÖNGÜSÜ ENVANTER ANALİZİ (YDEA) YÖNTEMİ

Bu bölümde, YDEA yöntemi yapı malzemesine odaklanarak incelenmiştir. 2. Bölümde incelenen ve yapı malzemesi ölçeğinde daraltılan temel yaklaşımlar ve kararların ardından envanter analizinin uygulanması aşaması incelenmiştir. Bu inceleme iki ana başlık altında yapılmıştır.

Bu amaçla ilk olarak envanter analizi yöntemi ve adımları: standartlar, farklı veri tabanları ve ilgili literatür üzerinden temel adımlar ve bu temel adımlar içerisinde değerlendirilecek olan alt başlıklar incelenmiştir. Bu alt başlıkların genel tanımlamaları yapılmış ve yapı malzemesi envanter analizi ile ilişkisi incelenmiştir.

İlk adımda incelenen standartlar: ISO 14040 "Çevresel Yönetim - Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi" standartları serisi (ağırlıklı olarak envanter analizini inceleyen 14040, 14041, 14044 ve 14049 ve yapı malzemesi çevresel ürün beyanı (ÇÜB) oluşturulması için ürün kategori kuralları ile yol gösterici olan BS EN 15804 standardıdır.

Bu kapsamda değerlendirilen alt başlıklar standartlar, rehber kitaplar ve literatür çalışmaları üzerinden incelenmiştir. ISO 14044 standardında, ürün sistemlerinin kıyaslanması sırasında aynı işlevsel birim ve denk metodolojik kararlar (performans, sistem sınırları, veri kalitesi, dağıtım kuralları, girdi-çıktı değerlendirme kararları vb.) ile yapılacak değerlendirmelerin sonuçlarına bakılmasının önemi vurgulanmaktadır (ISO 14044:2006, s. 11). US LCI ve ecoinvent'in karşılıklı kullanımının incelendiği bir çalışmada: elementer akışlar, dokümantasyon, üretim teknolojisi, ulaşım, enerji, arazi kullanımı, su, altyapı, veri boşlukları, veri kalitesi, sistem sınırları, metodoloji başlıkları değerlendirilmiştir (Suh ve diğ, 2016, s. 1290). Küresel veya yerel bir veri tabanı oluşturulmasının esaslarını inceleyen bir başka çalışmada; modellemeye ilişkin konuların (dağıtım, kesim kuralları, veri boşlukları, kirleticilerin kaydedilmesi ve isimlendirme) önemine değinilmiştir (Frischknecht, 2006, s. 42). YDE verisi toplanmasına ilişkin yapılan bir başka çalışmada değerlendirilen başlıca ölçütler: kullanılacak format, ham veri toplanması, coğrafi kapsam, zamana ilişkin kapsam,

teknik kapsam, kesim kuralları, üretim araçları, nakliye, atık yönetimi, dağıtım ve arazi kullanımıdır. Aynı çalışmada veri toplanmasından önce değerlendirilmesi gereken ölçütler: arazi kullanımı, belirsizlikler ve geri dönüşüm olarak belirtilmiştir (Kellenberger, 2007, s. 5-11). Jenerik (soysal) ve ürüne-özgü YDD veri tabanlarını karşılaştıran bir diğer çalışmada ise göz önüne alınan ölçütler: genel bakış, YDD formatı, kesim kuralları, yan ürünlere ve geri-dönüşüme ilişkin dağıtım, birincil veriler, ikincil veriler ve değerlendirilen elementer akışlardır (Lasvaux ve diğ, 2015, s. 1476). Yapı malzemesi oluşum enerjisine öncelikle etki eden değişkenlerin değerlendirildiği bir çalışmada; sistem sınırları, üretim teknolojisi, oluşum enerjisi analizi yöntemi, coğrafya, enerji yaklaşımı, veri kaynakları, veri tarihi, verinin bütünlüğü, hammadde enerjisi ve zamana ilişkin farklılıklar belirtilmiştir (Dixit ve diğ, 2010, s. 1243).

Çalışma kapsamında incelenen başlıklar; öncelikli olarak ISO 14040 serilerini temel alarak, literatürde uzun zamandır süregelen ve gelişmişliği çeşitli çalışmalarla (Sinha ve diğ, 2016, s. 162; Martínez-Rocamora ve diğ, 2016, s. 569) kanıtlanmış olan GaBi ve ecoinvent veri tabanlarının rehberleri ve literatür çalışmalarında belirtilen başlıklar göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Çalışmada, ISO 14040 serilerinde envanter analizi ile ilişkili temel başlıklar altında ve literatür çalışmalarında görülen: elementer akışlar, dokümantasyon, üretim, ulaşım, enerji, arazi kullanımı, su, altyapı, veri boşlukları, veri kalitesi (veri tarihi, verinin bütünlüğü, coğrafi kapsam, zamana ilişkin kapsam, teknik kapsam), sistem sınırları, dağıtım, kesim kuralları, isimlendirme, format, ham veri toplanması (birincil veriler ve ikincil veriler), veri kaynakları, üretim araçları, nakliye, atık yönetimi, belirsizlikler, geri dönüşüm alt başlıklarını içerecek bir kurguda değerlendirilmiştir (Oğuz, Tanaçan 2020). Şekil 3.1'de gösterilen şemada: ISO 14040 serilerinde envanter analizi için tanımlanan üç temel adım ve bu adımlarla ilişkili alt-başlıklar ve ilişkileri görülmektedir.

İkinci adımda bu başlıklar, güncel ve yapı malzemesine odaklanan bir çalışmanın (Martinez-Romacora, 2016) değerlendirdiği 10 veri tabanı üzerinden detaylandırılmıştır. 10 veri tabanında bu adımların ve alt başlıkların uygulanması kuralları incelenmiştir. Bölüm sonucu olarak incelenmiş veri tabanları ile en geniş kapsamda uyumun sağlanabileceği kurallar oluşturulmuştur. Ardından bu kuralların, incelenmiş başlıklar ile ilişkisini de gösteren bir envanter analizi akış diyagramı şeması (EK A) oluşturulmuştur.



Şekil 3.1 : YDEA yöntemi ile ilgili ISO 14040 serilerindeki ana-başlıklar ve literatürden oluşturulan alt başlıklarla ilişkisi (ISO 14040 serileri; Kupfer ve diğ, 2017; Frischknecht ve diğ., 2007; Suh ve diğ, 2016; Frischknecht, 2006; Dixit ve diğ, 2010; Kellenberger, 2007; Lasvaux ve diğ, 2015).

3.1 Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi Envanter Analizinin İncelenmesi

Yapı malzemesi YDD envanter analizinin incelenmesi, ISO 14040 serilerindeki adımlar üzerinden yapılmıştır. Bu bağlamda Şekil 3.1'de gösterilmiş ana başlıklar "veri toplanması", "veri hesaplanması" ve "veri dağıtımı"dır.

3.1.1 YDEA yöntemi veri toplanması

Veri toplama sürecinin doğru yürütülmesi, ardından gelen etki değerlendirme ve yorumlama aşamalarının da doğru sonuçlara ulaşabilmesinin ön koşuludur. Bu bağlamda veri toplama adımının:

- Veri toplanması için hazırlık
- Veri toplanması

olarak iki temel başlığı olduğu görülmektedir (ISO14041:1998, s. 8; ISO 14044:2006, s. 12).

ISO 14044:2006 standardında "veri toplanması" üst başlığı genel bir bakış ile iki alt adımda değerlendirilmiştir. ISO 14041:1998 standardında ise "veri toplanması" üst başlığının alt başlıkları daha detaylı icelenmiştir. Ancak çalışma kapsamında, ISO

14041:1998 standardında “veri toplanması” üst başlığı altında “veri toplanması için hazırlık” adımında değerlendirilen başlıklardan bazıları, veri toplanması uygulamaları olarak değerlendirilerek “veri toplanması” adımında incelenmiştir.

3.1.1.1 Veri toplanması için hazırlık

Envanter analizinin ilk aşaması olan veri toplanması için hazırlık başlığında, veri toplaması yapılmadan önce, gerekli sınırların çizilmesini sağlayan konular irdelenmektedir. Çalışmada, bu bölümde ele alınan başlıklardan bazıları ISO 14040 serilerinden “Hedef ve Kapsam” adımında bahsedilen başlıklardır. Ancak envanter analizi modeli içerisinde de değerlendirilmesi gereken bu başlıklar çalışma içerisinde “veri toplama için hazırlık” adımında değerlendirilmektedir. Bu aşamada çalışma kapsamında değerlendirilen başlıklar: veri türü, sistem sınırları, işlevsel birim, kapsam kararları, kesim kuralları ve elementer akışlardır.

Veri türü

Envanter çalışmasının temeli verilerdir. Veriler, konu ile ilgili nicel ve nitel verilerdir (ISO 14044:2006, s. 11). Veri toplanması aşamasında çalışmanın hedefi ve kapsamına bağlı olarak farklı özelliklerde ve farklı kaynaklardan elde edilmiş veriler kullanılabilir (ISO 14044:2006, s. 9). Veri setinin oluşturulmasında, ürüne özgü veriler ya da jenerik (soysal) veriler ile oluşturulup oluşturulmayacağı kararı önemlidir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 30). Yapı malzemesi tekil ürün olarak incelenecekse veya ürünler arası kıyaslamalar yapılacaksa birincil veriler olarak üretici verileri önem taşırken, çalışmanın bir ürün grubuna dair olması halinde ya da bölgesel ürün gruplarının kıyaslanması durumunda ortalama jenerik verilerin kullanılması uygundur (Guinee ve diğ, 1993, s. 7; Kupfer ve diğ, 2017, s. 30).

Veri türüne dair iki temel kategori bulunur. İlki kullanılacak verinin ürüne özgü ya da jenerik olmasıdır. Bunun yanı sıra birincil ya da ikincil verilerin kullanılması da çalışmada veri türü bağlamında yapılan bir tercihtir.

Yapı malzemesinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde, özellikle üretim aşamasına dair üretici verilerinin kullanılması önemlidir. Bu bağlamda farklı kaynaklardan alınan birincil verilerin kullanımı gereklidir. Aşağı ve yukarı yönlü akışların tamamlanması için jenerik veriler kullanılmaktadır (BS EN 15804:2012, s. 26).

- Ürüne-özgü veri

Ürüne özgü veriler; ürün sisteminden elde edilen, ürüne özel, birincil veri olarak kullanılan, daha özelleşmiş sonuçlara ulaşılması hedeflenen çalışmaların ana girdileridir (BS EN 15804:2012, s. 26).

- Jenerik (Soysal) veri

Jenerik veriler; bir ürün grubuna dair ortalama verilerin kullanabileceği çalışmalarda kullanılan, ya da ürüne özgü çalışmalarda ikincil veriler olarak yer alabilecek bilgilerdir (BS EN 15804:2012, s. 26).

YDE çalışmasında kullanılan verinin türü, kullanılacak verinin çalışmadaki önemine bağlı olarak:

- Birincil veriler

Birincil veriler değerlendirme ile doğrudan ilgili verilerdir ve genellikle kaynağın yerinden elde edilen veri türüdür (Kellenberger, 2007, s. 4; AusLCA Committee, 2014, s. 14).

Bu veriler:

- Yerinde ölçümler (Bovea ve diğ, 2007, s. 441; de Eicker ve diğ, 2010 s. 193; Li ve diğ, 2014 s. 206; ed. Sonnemann ve Vigon., 2011, s. 58; Wittstock ve diğ, 2011, s. 133)
- Alan gezileri (Kua, 2012, s. 512)
- Üretici görüşmeleri (Kua, 2012, s. 512; ed. Sonnemann ve Vigon., 2011, s. 58)
- Veri toplama araçları (ed. Sonnemann ve Vigon., 2011, s. 58)
- Anketler (ed. Sonnemann ve Vigon., 2011, s. 58)
- Faturalar (ed. Sonnemann ve Vigon., 2011, s. 58)

gibi kaynaklardan ilk elden elde edilmiş verilerdir. Birincil veriler ürünler arasındaki farklılıkların ortaya çıkmasına sebep olan bilgiler olarak ürün kıyaslaması yapılacak çalışmaların önemli bileşenleridir.

- İkincil veriler

İkincil veriler (arka plan verileri) ise çalışmayla doğrudan ilişkili olmayan, üreticinin kontrolünde olmayan verilerdir (BS EN 15804:2012, s. 26; Wittstock ve diğ, 2011, s. 125).

Bu veriler:

- Diğer veri tabanları (ed. Sonnemann ve Vigon., 2011, s. 58; Wittstock ve diğ, 2011, s. 133; Kua, 2012, s. 512)
- İstatistikler (ed. Sonnemann ve Vigon., 2011, s. 58; AusLCA Committee, 2014, s. 14)
- Raporlar (Dong ve Ng, 2015, s.190)
- Literatür çalışmaları (ed. Sonnemann ve Vigon., 2011, s. 58; Wittstock ve diğ, 2011, s. 129; Kellenberger, 2007, s. 4)
- Makine katalogları (Kua, 2012, s. 512)
- Görüşmeler (ed. Sonnemann ve Vigon., 2011, s. 58)
- Endüstri verileri (Wittstock ve diğ, 2011, s. 129)
- Başka YDE çalışmaları (Kellenberger, 2007, s. 4; AusLCA Committee, 2014, s. 14)
- Salım sınırları (Kellenberger, 2007, s. 4; AusLCA Committee, 2014, s. 14)

gibi çalışmalardan alınabilir.

Kullanılan ikincil veri kaynaklarının güvenilirliği önemlidir. Dolayısıyla basılı, kamusal veriler de kullanılsa, kaynaklar belirtilmelidir (ISO 14044:2006, s. 11). Bazı ülkelerde salım verileri gibi verilerin doğruluğundan emin olunamadığı için, bu veriler yerine yerinde ölçümler çok daha fazla önem kazanmaktadır. Kataloglar, istatistikler gibi verilerin güvenilirliği değerlendirilmelidir (Li ve diğ, 2014, s. 205).

Sistem sınırları

Çalışmanın hedef ve kapsamı, çalışma olanakları ve hangi çevresel akışların değerlendirileceği göz önüne alınarak YDD aşamalarının hangi kapsamda dahil edileceği değerlendirilir (ISO14041:1998, s. 5). YDD çalışmalarını diğer çalışmalardan ayıran özellik; sisteme bütünlük içerisinde bakılmasıdır. Ancak veri toplama aşaması emek yoğun bir çalışma olduğu için, günümüzde yapı malzemesi YDD çalışmalarının uygulamasında, bazı yaşam döngüsü evrelerinin veya bazı süreçlerin kapsam dışı bırakılabileceği görülmektedir. Çalışma kapsamında hedeflenen ilk sınırlar oluşturulur ancak bu sınırların çalışma sırasında daraltılması ya da genişletilmesi söz konusu olabilir (ISO14041:1998, s. 5; ISO 14044:2006, s. 13). Kapsam dışı bırakılan alanların nedenlerinin ve çalışmanın kapsamının detaylı olarak açıklanması gerekmektedir (ISO 14044:2006, s. 8; ISO14041:1998, s. 5).

Literatürde farklı sistem sınırlarının kullanıldığı görülmektedir. İncelenen çalışmalarda beşikten-kapıya (Gursel ve diğ, 2014; Lolli ve diğ, 2017; Hubbard ve Bowe, 2010), beşikten tüketiciye (Bovea ve diğ, 2007), kapıdan-kapıya (Puettmann ve Wilson, 2005; ; Beccali ve diğ, 2002), beşikten-şantiyeye (Vares ve Hakkinen, 1998) ve beşikten-mezara (Moncaster ve Symons, 2013) sistem sınırları ile karşılaşılmıştır. Yapı malzemesi üretimi, birincil enerji kaynaklarının temini ve hammadde temini evrelerini kapsayacak şekilde yapılacak bir çalışmanın oluşum enerji içeriğinin %90'dan fazlasını kapsayacağı ifade edilerek bu kapsamda malzemenin değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır (Praseeda ve diğ, 2015, s. 680).

Bu farklılaşmalar dolayısıyla yapı malzemesinin yaşam döngüsü değerlendirmesinde sistem sınırlarının bir ortaklık içerisinde olmadığı göze çarpmaktadır. Bu farklılıklar malzemenin kıyaslanabilirliği bağlamında karşılaşılan en önemli sorunlardan biridir (Dixit ve diğ, 2010, s. 1243; Suh ve diğ, 2016, s. 1297). Aynı sistem sınırları içerisinde değerlendirilecek çalışmaların kıyaslanması daha uygundur.

Yaşam döngüsünün farklı evreleri belirli tanımlar altında birleştirilerek, sistem sınırları oluşturulmaktadır. Bu tanımlar:

- Beşikten-kapıya: hammadde çıkarılmasından, üretim sürecinin sonuna kadar olan girdi-çıktılar değerlendirilir.
- Kapıdan-kapıya: sadece üretim tesisi içerisindeki girdi-çıktılar değerlendirilir.
- Beşikten-alana: hammadde çıkarılmasından başlayarak şantiyeye nakliye sürecini de kapsayan girdi-çıktılar değerlendirilir.
- Beşikten-mezara: hammadde çıkarılmasından malzemenin yok edilmesi ya da geri dönüşümü arasındaki girdi-çıktılar değerlendirilir.
- Beşikten-beşiğe: hammadde çıkarılmasından, malzemenin hammadde haline dönüşmesine kadar olan girdi-çıktılar değerlendirilir.

Bu sistem sınırlarının kapsadıkları süreçler aşağıda detaylandırılmıştır.

- Hammadde çıkarılması

Hammadde çıkarılması, yapı malzemesi YDD sürecinde kapsam dahiline alınan evrelerdendir (Vares ve Hakkinen, 1998, s. 1). Ancak bu evrede, ürün sisteminin nerede başladığı ve doğal sistemin nerede bittiği tartışmalıdır. Bu konuda yapılan çalışmalarda, malzemenin (örnek olarak doğadan elde edilen ahşabın) bir hammadde olarak mı değerlendirilmesi ya da üretim sisteminin içerisine mi dahil edilmesi

kararının, uygun sınırlar içerisinde çalışma kapsamına göre verilmesi gerekliliği değerlendirilmiştir (Guinee ve diğ, 1993, s. 5). Hammadde çıkarılmasının ayrı bir evre olarak düşünülmeyerek, üretim sürecinin bir parçası olarak dahil edilmesi gereken malzeme türleri ve malzeme üretimlerinin de olduğu belirtilmiştir (Wittstock ve diğ, 2011, s. 136).

- Üretim

Üretim sürecini değerlendiren çalışmalar içerisinde kapsam farklılıkları dikkati çeker. Malzeme üretimi dışında, üretimi meydana getiren unsurlardan hangilerinin katılıp katılmayacağı çalışmalar özelinde farklılaşır. Çimentoya özgü ürün-türü ÇÜB'ü oluşturmak için yapılan bir çalışmada, üretim süreci sadece tesis işlemlerini (klinker ve çimento üretimi) ve tesis inşasını kapsarken, tesisisin yıkımı tercihe bağlı olarak bırakılıp, kapsam dışı bırakılmıştır (Strazza ve diğ, 2010, s. 453).

- Nakliye

Yapı malzemesinin nakliyesi, yapı malzemesi türüne ve bölgelere bağlı olarak satıcılara, kullanıcılara ya da şantiyelere nakliye olarak çeşitlenebilir. Yapı malzemesi yaşam döngüsü değerlendirmesinde konuya dair farklı yaklaşımlar göze çarpmaktadır. Beton malzemeye dair yapılan bir çalışmada ulaşım temel sorunlara sebep olan alanlardan biri olarak görülerek çalışma kapsamına dahil edilmiştir (Vares ve Hakkinen, 1998, s. 1, 7). Hammaddelerin nakliyesi için ortalama bir değer kabul eden çalışmalar bulunmaktadır (Hubbard ve Bowe, 2010, s. 83).

- İnşaat

Yapı malzemesi üretimi ve bina yapım süreçlerinin dahil edildiği çalışmalarda, malzemelere dair kıyaslamaların yapılabilmesi için envanter analizinin emek yoğun sürecini kolaylaştırmak adına, sadece farklılaşan (kıyaslamaya esas) malzemelere dair bilgilerin derlenmesi söz konusu olabilir (Utama ve diğ, 2012, s. 364).

- Kullanım

Yapı malzemesi göz önüne alınırken kullanım aşamasında malzemenin yenilenme sıklığı (servis ömürleri) göz önüne alınmalıdır (Ramesh ve diğ, 2010, s. 1593; Adalberth, 1997, s. 317). Yapı malzemesini değerlendiren bazı çalışmalar ve veri tabanlarında, kullanım aşamasınında malzeme servis ömrünün de değerlendirildiği ve

malzeme yenilemelerinin hesaplamalara dahil ettiği görülmektedir (BS EN 15804:2012, s. 19).

- Yıkım, geri dönüşüm, yeniden kullanım

Yıkım ve atık bertarafı süreçlerini envanter analizi kapsamında değerlendirmek için bu süreçlerle ilgili verilere çalışma kapsamında ulaşabilabilmesiyle mümkün olur (de Eicker ve diğ, 2010, s. 195). Yapı malzemesinde geri kazanımının etkisine ilişkin örnekler olarak literatürde geri-kazanılmış malzemenin benzer yeni malzemeye etkilerini değerlendiren çalışmalar da bulunmaktadır. Bu konuda yapılan bir çalışmada geri-kazanılmış malzemenin çevresel etkilerinin çok daha düşük olduğu görülmüştür (Bergman ve diğ, 2010, s. 7-9).

İşlevsel birim

İşlevsel birim, ISO 14041 standardında, çalışmanın hedef ve kapsamıyla uyumlu olacak şekilde beklenen işlevi yerine getirecek ürün miktarı olarak tanımlanan ve uygulamalarda referans akış ile temsil edilen büyüklüktür (ISO 14041:1998, s. 5). İşlevsel birimin, veri setinin hedefini doğru temsil edebilmesi ve karşılaştırmalara olanak sağlaması gereklidir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 31). Yapı malzemesi ÇÜB için temel gereklilik olan A1-A2-A3 modüllerinin hesaplanmasında kullanılan "beyan edilmiş birim", ÇÜB için referans birim olarak kullanılan yapı malzemesi miktarı olarak tanımlanır (BS EN 15804:2012 s. 8, 14). Yapı malzemesine ilişkin çalışmalarda işlevsel birim yerine beyan edilmiş birimin de kullanılmakta olduğu görülmektedir (European Commission 2010, s. 19; BS EN 15804:2012, s. 14).

Kapsam kararları

Kapsam kararları olarak derlenen başlıklar, çalışma kapsamı içerisinde sistemi tanımlayan karakteristik özelliklerdir. Bu başlıkların çalışma kapsamına dahil edilip edilmeyeceği ve/veya hangi detayda dahil edildiği YDE çalışmalarında girdi-çıktılara dair farklılaşmalara ve çalışmanın özelleşmesine sebep olurlar (Suh ve diğ, 2016, s. 1296). Farklı veri tabanlarında, farklı detaylarda incelenen bu başlıkların bir kısmı, GaBi veri tabanı içerisinde "değişkenler" bölümünde listenen başlıklar olarak göze çarparlar (Kupfer ve diğ, 2017, s. 97). Çalışma içerisinde yapı malzemesi ile ilişkili olarak öncelikli kapsam kararları olarak: enerji, su, atık yönetimi, nakliye ve altyapı değerlendirilmiştir.

- Enerji

Enerji girdisi YDE çalışmalarının temel girdilerindendir. Ancak çalışmalar arasında enerji kullanımının (tüketiminin) hangi kapsamda dahil edildiği farklılıklar göstermektedir. Enerji girdileri, hem yerel sonuçların, hem farklı malzeme gruplarının, hem de malzemelerin benzerleri içerisinde farklılaşmasının temel sebeplerindendir. Enerji akışları çoğunlukla, çalışma sınırları kapsamında envanter analizine dahil edilirler (ISO 14049:2000, s. 10). Ancak sadece yenilenemeyen kaynaklardan tüketilen enerjileri dikkate alan çalışmalar da bulunmaktadır (Li ve diğ, 2014, s. 207). Enerji girdileri düşünülürken birincil enerji kaynaklarının, tesise naklinde zaman içerisinde olabilecek değişikliklerin (mesafelerin farklılaşması) göz önüne alındığı çalışmalar bulunmaktadır (Li ve diğ, 2014, s. 207). Üretim hattındaki enerji girdileri çalışmalarda dahil edilirken, bazı çalışmalarda mekanik donanım (özellikle mikserler, elektrikli testereler vb.) kullanım enerjilerinin de kapsama dahil edildiği görülmüştür (Utama ve diğ, 2012, s. 364). Literatür çalışmalarında ısıl enerjilerin de envanter analizinde değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır (Hubbard ve Bowe, 2010, s. 84, 87). Türkiye'de yapılan bir çalışmada yapı malzemelerinin üretiminde fabrikada malzemenin üretim enerjisi derlenmiştir (Ciravoğlu, 2005, s. 915).

Elektrik tüketimine dair veriler de, çalışmalarda en temel girdilerdendir. Ancak bu verilerin sınırları çalışmalar arasında değişkenlik gösterebilir (Gursel ve diğ, 2014, s. 41-42). Elektrik tüketimi bağlamında, elektrik şebekesine dair bölgesel/ülkesel farklılıkların olabileceği ve bu farklılığın çalışmalardaki farklılaşmalara sebep olabileceği dikkate alınmalıdır (Guinee ve diğ, 1993, s. 10). Günümüzde üretimde kullanılan cihazların çoğunun elektrik tüketimine dair verileri saptıyor olması envanter analizinde veri kalitesi açısından önemli bir gelişmedir (Li ve diğ, 2014, s. 207).

- Su

Geleneksel YDE çalışmalarında su çok sık değerlendirilen bir değişken değildir. Güncel çalışmalarda ise temiz suyun girdilerden biri olarak çalışmalar içerisinde değerlendirildiği dikkat çekmektedir (Li ve diğ, 2014; Strazza ve diğ, 2010). Çimento ve beton ile ilgili YDE çalışmalarını inceleyen bir çalışmada, her iki grup için de su tüketiminin nadiren bakılan bir değişken olduğu görülmüştür (Gürsel ve diğ, 2014, s. 42,45,46). ISO 104040 serileri içerisinde, ISO 14046 standardı, çevre yönetim standartları bağlamında su ayakizine dairdir (ISO 14046:2014).

- Atık yönetimi

Atıklar konusunda, atık bertarafının sistemin bir parçası olarak görülüp görülmediği önemlidir. Özellikle demir, çelik gibi hammaddelerden yapı malzemesi üretiminde, kapalı döngü (sistemin kendi içerisinde atık malzemeyi yeniden kullandığı) sistemlerin değerlendirilmesinin önemli olduğu görülmüştür (European Comission, 2010, s. 84; Kupfer ve diğ, 2017, s. 113-114). Bunun yanısıra atık bertaraf senaryoları, ülkelerin teknolojilerine ve sorunlarına göre farklılaşabilmektedir (Kellenberger, 2007, s. 8).

- Ulaşım

Ulaşım verisinin dahil edilip edilmemesi de çalışmalar arasındaki farklılıklara neden olan bir unsurdur (ed. Sonnemann ve Vigon, 2011, s. 70). Yapı malzemesi üretimi sınırları içerisinde ulaşıma dair veriler değerlendirildiğinde: hammaddenin tesise getirilmesi ve malzemenin şantiyeye ulaştırılması gibi iki temel başlıkta incelenebilir.

- Altyapı

Üretimde kullanılacak ekonomik varlıkların (tesis, kullanılan araçlar ve donanımlar vb) çalışma sınırları içerisine dahil edilip edilmemesi ortak bir yaklaşımın bulunmadığı konulardandır (ed. Sonnemann ve Vigon, 2011, s. 56). Konuya dair bir çalışma, üretimde kullanılan araçların kullanımları sırasında oluşan salımların dahil edildiği, ancak bu araçların üretiminin çalışmalara dahil edilmediğini veya bu araçların üretimlerinin çok basitleştirilerek çalışmalara dahil edildiğini belirtir (Guinee ve diğ, 1993, s. 7).

Kesim kuralları

Kesim kuralları, özel bir ürün sistemi oluştururken, nispeten az ilişkili detayları kapsam dışı bırakabilmek için oluşturulmuş kurallardır (Kupfer ve diğ, 2017, s. 39). Envanter analizinde kesim, çalışmanın bütünlüğü eksilten ancak uygulanabilirliğini arttıran bir karardır. Bir sürecin etkisinin ihmal edilebilir olması durumunda kesim yapılması, çalışmanın emek yoğun sürecini azaltmak için uygundur (Guinee ve diğ, 1993, s. 7). Kesim kurallarının net olarak belirtilmesi ve benzerliği, farklı veri tabanlarının bilgilerinin bir araya getirilmesi ve kıyaslanabilmesi için önemlidir (ISO 14044:2006, s. 11; ed. Sonnemann ve Vigon, 2011, s. 61).

Elementer akışlar

Elementer akışlar, insan eli değmeden doğadan alınan ve/veya ardından bir işlem gerektirmeyecek şekilde doğaya bırakılabilecek malzeme ya da enerji akışlarıdır (ISO 14044:2006, s. 3; ed. Sonnemann ve Vigon, 2011, s. 135). Elementer akışların teorik olarak bütün girdi ve çıktıları kapsaması beklenir. Elementer akışların geniş bir kapsamda tespit edilmiş olması, daha fazla verinin değerlendirilebilmesi açısından önemlidir (de Eicker ve diğ, 2010, s. 195). Ancak YDE analizi çalışmalarının emek yoğun sürecini azaltmak için, özellikle göz önüne alınacak etki değerlendirme kategorileri için gerekli elementer girdi ve çıktı akışlarının değerlendirilmesi önceliklendirilebilir (ISO 14041:1998, s. 6).

3.1.1.2 Veri toplama

Veri toplanması, veri toplanması için gerekli uygulamanın yapıldığı veya bu işlemlerin uygulanışına dair kararların alındığı aşamadır. Verinin uygun şekilde toplanması uygulaması ile ilişkili olarak: "veri toplanması yöntemi" ve "verinin biriktirilmesi" alt başlıkları altında değerlendirilmiştir. ISO 14041:1998 standardında "veri toplanması için hazırlık" adımında değerlendirilen "süreç akış diyagramlarının çizilip modellenmesi" ve "birimlerin listelenmesi" adımları, çalışmada "veri toplama" adımı altında incelenmiştir.

Veri toplanması yöntemi

Veri toplama yöntemleri olarak literatürde farklı yöntemler mevcuttur. Temel olarak veri toplanması ve belgelenmesini sağlayacak adımların uygulanması esastır. Bu süreçte planlananlar yapılacak çalışmanın kapsamına ve koşullara göre tercih edilmelidirler (European Comission, 2010, s. 37). Veri toplanması genellikle etki değerlendirme adımı ile bağlantılı olarak yapılmaktadır (ISO 14049:2012, s. 15).

Çalışmalarda kullanılacak veri kaynakları, çalışmanın özelliğine ve kullanılması planlanan veri türüne (birincil/ikincil ve ürüne özgü/jenerik) bağlı olarak "3.1.1.1. Veri Türü" bölümünde bahsedilmiş ya da gerekli kriterleri sağlayacak farklı kaynaklardan seçilebilirler.

Verinin biriktirilmesi

Daha detaylı, doğru sonuçlara daha hızlı ulaşabilmek için elde edilen verilerin ve bu verilere dair bilgilerin depolanması ve bir veri tabanı içerisinde biriktirilmesi önemlidir (ed. Sonnemann ve Vigon., 2011, s. 86).

- Meta-verilerin kaydedilmesi

Envanter analizi çalışmalarında malzemeye dair nitel ve nicel veriler derlenmektedir. Meta-veriler olarak adlandırılan nitel veriler, ürün, üretim sistemi ve veri toplanması sürecine dair bilgileri içerirler (ed. Sonnemann ve Vigon, 2011, s. 93). Meta veriler, veri kalitesinin değerlendirilmesi ve nicel verinin diğer çalışmalarda kullanımı için uygunluğunun değerlendirilmesi açısından önemlidir (ed. Sonnemann ve Vigon, 2011, s. 91). Veri ve veri setine dair yanlış tercihlerin yapılmasını önlemek için veriye dair bilgileri içeren meta verilerin detaylı bir şekilde biriktirilmesi gerekmektedir (European Comission, 2010, s. 55; ISO 14044:2006, s. 11).

- Verinin isimlendirilmesi

Elde edilmiş bilgilerin doğru isimlendirme ve sınıflandırma ile depolanması hem verinin sistem içerisindeki kullanım kolaylığını arttırmakta, hem de veri tabanları arasında karşılıklı-kullanılabilirlik anlamında önemli olmaktadır. Veri tabanlarının bir arada kullanımının sağlıklı olabilmesi için elementer akışların isimlerinin aynı olması çalışmalarda dikkat çekilen konulardandır (Suh ve diğ, 2016, s. 1294).

- Kullanılan birimler

Ölçümler için temel birimler: m, kg, mol ve diğer SI birimleri olmalıdır. Tüm kaynak kullanımları için kg kullanılmalıdır. Kaynak kullanımlarında farklı birimlerin kullanımını gerektiren istisnalar: kWh ve MJ olarak derlenecek birincil enerji girdileri; m^3 olarak su girdisi; ^0C olarak ısı girdisi ve uygun ölçekteki birim ile değerlendirilecek (dakika, saat, gün) zaman girdisidir (BS EN 15804:2012, s. 27). Farklı birimlerin kullanılması çalışmaların karşılıklı-kullabilirliği açısından sorun oluşturur (Suh ve diğ, 2016, s. 1297).

- Veri biriktirme formatı

Veri formatının var olan veri tabanları ile uyumu, çalışmaların kıyaslanabilirliği açısından önemlidir. Farklı veri tabanlarının kullanıldığı çalışmaların kıyaslaması yapılacağı zaman veri formatının uyarlanması gerekmektedir (Suh ve diğ, 2016, s. 1297). Literatür çalışmaları ve var olan veri tabanları incelendiğinde çoğunlukla EcoSpold formatının kullanıldığı görülmektedir (Kellenberger, 2007, s. 1-4; Frischknecht ve Rebitzer, 2005, s. 1338, 1341). Ecospold formatı, XML teknolojisi temelli bir veri değişim formatıdır. Uluslararası Spold 99 formatının, ISO 14048 standardına göre uyarlanmasıyla oluşturulan Ecospold formatı, birçok veri tabanının

kullandığı ya da kullanımına olanak sağladığı bir veri biriktirme formatıdır (URL-7). Ecospold veri formatı içerisinde veri seti, elementer veri seti ve etki veri seti olarak farklı altlıklar mevcuttur. Bu altlıklar gerekli temel verilerin uygun biçimde ve olabildiğince uyum içerisinde biriktirilmesine yardımcı olur. Temel olarak süreç bilgisi, coğrafya, teknoloji, zaman aralığı, isim, veri seti bilgisi, modelleme ve onay bilgisi, temsil edilebilirlik, kaynak, dağıtım gibi başlıkları içerir (URL-7). Ecospold formatının yanı sıra, veri tabanlarının kendi geliştirdikleri formatları da kullandıkları görülmektedir (Flemstörm ve Palsson, 2003, s. 1,6,27; Casademont ve Alfaro, 2014, s. 126).

3.1.2 YDEA yöntemi veri hesaplaması

Veri hesaplanmasında veri toplama adımında ham veri olarak elde edilen verilerin, uygun YDED kategorileri ya da ÇÜB için değerlendirilen etki değerlendirme kategorileri açısından birim süreçler bazında ya da ürün sistemi olarak (kümelendirilmiş) derlenmesi gerçekleştirilir (ISO 14040:2006, s. 9). Veri hesaplanması adımı:

- Verinin onaylanması
- Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi
- Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi
- Veri kümelendirilmesi
- Sistem sınırlarının inceltilmesi

başlıklarını içerir (ISO 14041:1998, s. 9-10; ISO 14044:2006, s. 13).

3.1.2.1 Verinin onaylanması

Verilerin onaylanması hesaplamaların sonucundaki kontroller açısından önemlidir. ISO 14041 verinin doğruluğuna ilişkin sınamanın, veri toplanması aşamasında da yapılmasını önerir. Asgari ölçüt olarak, veri hesaplanması aşamasına geçilmeden veri onayı yapılmalıdır (ISO 14041:1998, s. 10).

Eksik verinin tamamlanması

Veri eksikliği için yapılan işlemler belgelenmelidir. Eksik veriler, eksik verilerin tamamlanması ve veri boşluğu gibi alanlar raporlanmalıdır.Veri eksikliği, uygun veri kalitesi gereklerini sağlayacak şekilde, uygun yöntemlerle doldurulabilir. Bu işlemler sonucunda: sıfır ya da sıfırdan başka kabul edilebilir bir değere ya da benzer

teknolojiyi kullanan birim süreçlerden hesaplanan bir değere ulaşılmalıdır (ISO 14041:1998, s. 10).

Veri kalitesi kontrolü

Veri kalitesi, envanter analizinin doğru hesaplanabilmesini sağlayan ve etki değerlendirme aşamasının başarılı olması için gerekli unsurlardandır (Coulon ve diğ, 1997, s. 1; Guinee ve diğ, 1993, s. 12; Suh ve diğ, 2016, s. 1296, Wittstock ve diğ, 2011, s. 131). Uygulamada birçok çalışma ISO 14044'de tanımlanan, "veri kalitesi göstergeleri"nin (VKG) tamamı, bir kısmı ya da daha fazlası ile veri kalitesinin belirlenmesi ve raporlanabilmesini sağlar (ISO 14044:2006, s. 10). ISO 14044 standardında tanımlanan VKG aşağıda listelenmiştir.

- Zamana ilişkin kapsam

Verilerin hangi zaman aralığında toplandığı (ya da verinin yaşı) çalışmada ve/veya meta-veriler başlığında belirtilmelidir (ISO 14044:2006, s. 10, 34; Wittstock ve diğ, 2011, s. 127). Özellikle temsili süreç seçimi ve veri seçimi açısından bu verilerin bilinmesi çok önemlidir (Guinee ve diğ, 1993, s. 7-8, 12). Değerlendirme için verilerin belirli bir zaman aralığında seçilmesi ve bunun belgelenmesi önemlidir. Verilerin bu zaman aralığı içerisinde elde edilemediği durumlarda da verinin zamana dair kapsamı belirtilmelidir (Kellenberger, 2007, s. 6). Yapı malzemeleri değerlendirirken zamana dair kapsamın belirtilmesinin önemli olduğu nedenlerden biri de aynı dönemde üretilmiş malzemelerin kıyaslanmasının ya da aynı döneme ait akışların ilişkilendirilebilmesinin sağlanmasıdır (ed. Sonnemann ve Vigon, 2011, s. 61). Zamana ilişkin kapsamın belirtilmesi bu bağlamda da çalışmalar arasındaki ilişkilerin kurulabilmesini sağlar.

Ayrıca verilerin günlük ya da tek seferlik ölçümlere dayanan veriler değil, senelik süreçleri kapsayan ve bunlardan gerekli çıkarımların yapıldığı veriler olması malzemenin daha doğru bir değerlendirmeye tabi tutulmasına sebep olur (BS EN 15804:2012, s. 26; ed. Sonnemann ve Vigon, 2011, s. 60; Wittstock ve diğ, 2011, s. 128).

- Coğrafi kapsam

Verilere dair coğrafi kapsamın belirtilmesi, temsili süreçlerin ve bunlarla bağlantılı veri seçimi açısından önemli bir unsurdur (Guinee ve diğ, 1993, s. 9-12; ed. Sonnemann ve Vigon, 2011, s. 64, 100).

- Teknik kapsam

Verilerin toplandığı teknolojilere dair bilgiler de, meta-veriler içerisinde kapsamlı bir şekilde belgelenmelidir (Kellenberger, 2007, s. 6). Teknik bilgilerin net olarak belirtilmesi, veri tabanının şeffaflığı açısından da önemlidir (de Eicker ve diğ, 2010, s. 193).

- Kesinlik

Varyans olarak da ifade edilen, her veri değeri için değişkenliği tanımlayan başlıktır (ISO 14044:2006, s. 10).

- Tamlık

Ölçülebilen ya da niceliği tahmin edilen akışların bütün akışlardaki yüzdesidir (ISO14044:2006, s. 10). YDD çalışmalarının önemli bir özelliği olan sistemin bütününün ele alınabilmesi, uygulama koşullarıyla çelişmektedir. Tamlığın sağlanabilmesi, kesim kurallarının uygulanması ile bozulmaktadır. Bu nedenle kesim kurallarının amaç ve kapsama göre uygun belirlenmesi, amaç ve kapsamda belirlenen bu kurallara uyulması, ilişkili akışların içerilmesi ve çalışmanın bütüncüllüğüne mümkün olduğunca az zarar vermesi gerekmektedir (ed. Sonnemann ve Vigon, 2011, s. 62).

- Temsiliyet

Temsiliyet, özellikle başka bir veri seti için boşlukların doldurulması ve ürün grubunu temsil edecek verilerin oluşturulmasında önemlidir. Coğrafi, teknik kapsamlar ve zamanın uygunluğu temsiliyet için önemli alt başlıklardır (ISO 14044:2006, s. 10).

- Tutarlılık

Tutarlılık, çalışma içerisine ilerleyen süreçlerin birbirleriyle uygun metodolojik kararlar ile yürütülmesidir. Envanter analizinin doğru sonuçlanabilmesi için, tüm süreç boyunca aynı kararların uygulanması gereklidir (ISO 14044:2006, s. 10).

- Üretilebilirlik

Metodoloji ve veriye dair bilgilerin bulunması ile tanımlanan gösterge, başka bir çalışmada benzer verinin üretilmesine dair çalışmalarının yapılabilirliğini gösterir (ISO 14044:2006, s. 10).

- Veri kaynakları

Verilerin elde edildiği kaynakların bilgisi veri kalitesinin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Veri seti içerisindeki her bir akış için, birincil verilerde veri kaynağı ve ölçülmüş/hesaplanmış/tahmini olma durumu, ikincil verilerde referanslar belirtilmelidir (ed. Sonnemann ve Vigon, 2011, s. 87)

- Belirsizlik

Belirsizlik hesapları veri toplanması sürecinden sonra yapılan uygulamalardır. Veri derlenmesi yapılırken ürüne dair veriler belirli bir zaman aralığı süresince toplanır ancak veri tabanına bu sürece dair ortalama veriler girilir. Dolayısıyla her zaman veri tabanından çekilen veri bir nevi "temsili" veri olur ve pratikteki veri ile farklılaşmalar gösterecektir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 42).

Süreç envanter verisinde oluşabilecek belirsizlik sebepleri:

- Girdi çıktıları tanımlayan rakamlar arasındaki farklılıklar (Bu farklılıklar: ölçüm hataları, zamana dair farklılıklar veya sürece özgü farklılıklar gibi nedenlerden kaynaklanabilir.),
- Girdi-çıktı akışları arasında gerçek veri ve kullanılan veri arasındaki farklılıklar (Bu farklılıklar: zamana dair ya da coğrafi kapsam nedeniyle oluşabilir.),
- Modelin uygun olmaması,
- Önemli akışların göz ardı edilmesi

olabilir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 42).

Envanter yöntemlerinin geliştirilmesi sırasında, veri kalitesinin değerlendirilmesi ve veri tabanlarının halka açık ve güncellenen altlıklar olması gerekliliği vurgulanmıştır (Guinee ve diğ, 1993, s. 12). Veri kalitesi göstergelerinin (VKG), her bir veriye tek tek uygulanması pratikte imkansızdır. Bu bağlamda kabul görmüş yöntemlerden biri Monte Carlo yöntemidir (Coulon ve diğ, 1997, s. 179). Hollanda'da yapılan bir çalışmada ise veri kalitesinin değerlendirilmesinde VKG veya belirsizlik yöntemlerinin kullanımının yaygın olduğu belirtilmiş ve bu çalışmada pedigree matrisleri ile veri kalitesinin değerlendirilmesi yapılmıştır (Schuurmans, 2003). Belirsizliğe dair bilgilerin bazı kaynaklarda olup, diğerlerinde olmaması farklı kaynaklardan veri alan bir çalışmada belirsizliğe dair net bir bilgi verilememesine neden olur (Dong ve Ng, 2015, s. 190). Bu açıdan belirsizliğin değerlendirilebilmesi veri tabanlarının karşılıklı kullanımı açısından önemlidir (Suh ve diğ, 2016, s. 1296).

Veri onaylama yöntemleri

Verinin onaylanması: kütle dengeleri, enerji dengeleri ve/veya salım faktörlerinin karşılıklı değerlendirilmesi gibi yöntemlerle yapılabilir. Bu onay sürecinde ortaya çıkan anormal değerlerin, veri kalitesi gereklerini yerine getiren yeni değerler ile değiştirilmesi gerekmektedir (ISO 14041:1998, s. 10). Verinin onaylanmasında uzman görüşüne dayanan yöntemler de kullanılmaktadır.

3.1.2.2 Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi

Veri hesaplamasının önemli adımlarından birisi de birim süreçlerin oluşturulması ve toplanan verinin bu detayda derlenebilmesidir. Bu bağlamda, uygun referans akışa göre her birim süreç için girdiler ve çıktıların hesaplanması envanter analizi akışında gerçekleştirilmelidir (ISO 14041:1998, s. 10).

3.1.2.3 Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi

İşlevsel birim normalleştirilen birim süreçler, akış diyagramları ve sistem sınırlarına uygun olarak hesaplamalara imkan verecek şekilde ilişkilendirilmelidir. Ancak her bir birim sürece dair verinin, daha sonra kullanılacakları etki değerlendirilmesi süreci için temel başlıklar altında toplanması gerekmektedir (ISO14041:1998, s. 10).

3.1.2.4 Verinin kümelendirilmesi

Verilerin kümelendirilmesi, aynı değişkene dair verilerin süreç ya da süreçler bazında kümülatif biriktirilmesidir (ISO 14041:1998, s. 10). Verilerin birim süreç olarak biriktirilmesi, gerekli durumlarda arka plan verisi olarak kullanımını kolaylaştırır (Wittstock ve diğ, 2011, s. 126). Kümelendirme arttıkça tekil bilgilere ulaşma olasılığı kaybolmaktadır. Bu nedenle literatürde YDE çalışmalarında teorik olarak kümeleme işleminden mümkün olduğu kadar kaçınılması, verilerin birim süreçler kapsamında toplanması önerilmektedir (de Eicker ve diğ, 2010, s. 192).

Kümelendirme veri toplanması aşamasında kaçınılması tercih edilen bir süreç iken, etki değerlendirme aşamasına bilgi aktarımı ya da envanter analizi oluşturmak için önemlidir. Burada tekil süreçlerin bilgisinin kümelendirilmemiş olarak elde edilmiş olması ancak daha sonra uygun yöntemler ile birleştirilmesi önemlidir. Veri kategorilerinin, sadece denk maddeler ya da benzer çevresel etkiler altında gruplanabiliyorsa kümelendirilmesi uygundur (ISO14041:1998, s. 10).

Çalışmanın özelliğine ya da elde edilecek verinin kullanım alanına göre iki farklı kümelendirme yöntemi vardır:

- Yatay kümelendirme: ara akışlarla bağlı iki ya da daha fazla birim sürecin verilerinin bir arada değerlendirilmesidir (Frischknecht ve diğ, 2007; ed. Sonnemann ve Vigon, 2011, s. 68, 136).
- Dikey kümelendirme: aynı referans akışı (ya da ürünü) oluşturan iki ya da daha fazla sürecin bir arada değerlendirilmesidir (Frischknecht ve diğ, 2007; Sonnemann ve Vigon, 2011, s. 68, 142).

3.1.2.5 Sistem sınırlarının inceltilmesi

YDE analizi içerisinde verilerin önemi, duyarlılık analizi ile değerlendirilmelidir. Duyarlılık analizi, YDD çalışmasının hedefi bağlamında etkileri önemli olan girdi-çıktı verilerinin sınırlandırılmasını sağlar. Duyarlılık analizi sonrasında, YDE analizi akışında başa dönülerek, başlangıçta düşünülen sistem sınırlarının kesim kuralları ile uyumlu olarak inceltilmesi söz konusudur. Duyarlılık analizi ve sistem sınırlarının inceltilmesinin sonuçları belgelenmelidir (ISO 14041:1998, s. 10).

Duyarlılık analizi sonrasında:

- Yeterli öneme sahip olmayan yaşam döngüsü aşamaları ve birim süreçlerin çalışmadan çıkarılması,
- Çalışma sonuçlarına etkisi düşük olan girdi ve çıktıların çalışmadan çıkarılması,
- Başlangıçta kapsam dışı bırakılmış ancak çalışma sonucuna etkileri tahminlerden fazla olan girdi, çıktı ve birim süreçlerin çalışmaya dahil edilmesi

söz konusu olabilir (ISO 14041:1998, s. 10).

3.1.3 YDEA yöntemi veri dağıtımı

Dağıtım; tekil ürüne ait girdi ve çıktıların elde edilememesi durumunda, sürece dair ürünler arasında paylaştırma yapılmasıdır (ISO 14041:1998, s. 11). Veri toplanması sırasında akışlara ve süreçlere özgü girdi-çıktıların tespit edilmesi ve kaydedilmesi önemlidir. Ancak günümüzdeki karmaşık üretim süreçleri, çalışmaya esas olan ürünün yanı sıra farklı ürünler, yan ürün ve ikincil ürünler gibi ekonomik fayda sağlayan farklı çıktıların da oluşmasıyla gerçekleşebilmektedir. Hatta ürünlerin geri-dönüşümü de süreçteki girdi-çıktıların paylaştırılmasını gerektirebilir (ISO 14044:2006, s. 14-15). Bu sebepler dolayısıyla elde edilmiş verilerin farklı ürünlere dağıtılması (paylaştırılması) ve bu şekilde çevresel etkilerin hesaplanması gereklidir. Literatürde bu konuya farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. ISO 14044 içerisinde paylaştırmanın sağlamasının yapılması için literatürde %100 kuralı olarak da adlandırılan bir yöntem

önerilir. Buna göre bir birim sürecin dağıtılmış girdilerinin ve çıktılarının toplamı, dağıtım yapılmamış girdi ve çıktılarının toplamına eşittir (ISO 14044:2006; Kupfer ve diğ, 2017, s. 99; Frischknecht ve diğ, 2007, s. 36).

3.2 Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi Envanter Analizi Veritabanlarının İncelenmesi

Tez kapsamında yapı malzemesi ile ilişkili veri tabanlarının incelenmesi yapılmıştır. Bu kapsamda "Martínez-Rocamora ve diğ, 2016" çalışmasında kullanılan veri tabanları, çalışmanın yapı malzemesi veri tabanlarına odaklanan güncel bir çalışma olması sebebiyle seçilmiştir. Bu veri tabanları:

- ecoinvent: İsviçre tabanlı, enerji, malzeme üretimi, sistemler, yaşam-sonu süreçleri, nakliye, atıklar, kullanım ve tüketim ve diğer hizmetleri içeren çok geniş kapsamlı bir veri tabanıdır (URL-8). Çalışma içerisinde ecoinvent v.2 değerlendirilmiştir.
- GaBi: Yapı ve inşaat sektörünü de kapsayan, çok geniş bir alana hitap eden Almanya tabanlı bir veri tabanıdır (URL-9).
- ELCD/ILCD: AB içerisindeki çeşitli çalışmalardaki temel malzemeler, enerji, ulaşım ve atık yönetimine dair verileri bir araya getiren bir veri tabanıdır (URL-10). ILCD günümüzde farklı bir platforma evrilmiştir. Ancak ELCD olarak halen kullanılmakta olduğu çalışmalar bulunmaktadır.
- Plastics Europe eco-profiles: Polimerler için ortalama Avrupa bilgilerinden derlenmiş çalışmalar sunan bir platformdur (URL-11).
- Athena: ABD'de üretilmiş, yapı malzemeleri özelinde çalışmalar yapan bir veri tabanıdır (URL-12).
- US LCI: ABD tabanlı, birim süreçler için malzeme ve enerji akışları üzerinden oluşturulmuş bir envanter analizi veri tabanıdır (URL-13).
- Base Carbone: Fransa için özellikle malzeme üretimi, enerji ve ulaşım için karbon salımlarının değerlendirildiği bir veri tabanıdır (URL-14).
- BEDEC: İspanya tabanlı, yapı malzemeleri için oluşturulmuş jenerik bir veri tabanıdır (URL-15).
- CPM LCA: İsveç tabanlı, ürünler ve malzemeler üzerine, sektörden verilerin birleştirilmesi ile oluşmuş bir veri tabanıdır (URL-16).

- Probas: Almanya'da üretilmiş malzeme üretimi, ulaşım, enerji, atıklar ve diğer konuları içeren bir veri tabanıdır (URL-17).

3.2.1 Veri tabanlarının veri toplanması açısından karşılaştırması

Veri toplanması için hazırlık adımında incelenen ölçütler: veri kaynakları, sistem sınırları, işlevsel birim, kesim kuralları, kapsam kararları (enerji, su, atık yönetimi, nakliye ve altyapıya ilişkin kararlar) ve elementer akışlardır. Veri toplanması adımında ise: veri toplanması yöntemi ve verinin depolanması ölçütleri değerlendirilmektedir.

3.2.1.1 Veri toplanması için hazırlık

Veri toplanması için hazırlık adımı: veri türü, sistem sınırları, işlevsel birim, kapsam kararları, kesim kuralları ve elementer bakışlar alt başlıkları altında incelenmiştir.

Veri Türü

ecoinvent içerisinde farklı veri kaynakları kullanılır. Basılı yayınlar, resmi istatistikler, kişilerden elde edilen bilgiler kullanılan veri kaynaklarındandır (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 45).

GaBi veri tabanında kullanılan birincil veri kaynakları; ölçülen, hesaplanan veya tesis kayıtlarından elde edilen verilerdir. İkincil veri kaynakları ise: basılı yayınlar, şirketlerin çevresel raporları, şirketlerin YDD ve YDE çalışmaları, salım limitleri ve resmi istatistiklerdir. GaBi içerisinde veri seçimine dair kısıtlar bulunmamaktadır. Uygun olduğuna karar verilmiş bütün veriler veri tabanı içerisinde kullanılabilir (Kupfer ve diğ, 2017, s.72).

ELCD veri tabanında kullanılan birincil kaynaklar: süreç ya da tesis verileri, faturalar, salım ölçümleri, ürünler ve atıkların bileşenleri; ikincil kaynaklar: tarifler ve formüller, patentler, stokiyometrik modeller, süreç ve ürün spesifikasyonları ve testleri, yasal limitler, benzer süreçler gibi kaynaklardan oluşturulur (European Commission, 2010, s. 56-57).

Plastics Europe eco profiles içerisinde birincil veriler: ölçülmüş, hesaplanmış, tahmini verilerdir; ikincil veri ise literatür, diğer veritabanlarından derlenir (Plastics Europe 2011, s. 18-19; Plastics Europe, 2019, s. 12).

US LCI veri tabanında birincil veriler tesislerden elde edilen verilerdir. İkincil veriler ise (diğer YDE çalışmaları, salım sınırları, resmi istatistikler vb.) basılı kaynaklardan elde edilen verilerdir (American Center for Life Cycle Assessment, 2010, s. 6).

Bedec veri tabanının tüm verileri jenerik çevresel verilerden oluşturulmuştur. Çalışmaları üretici verileri ile özelleştirmek mümkündür (Casademont ve Alfaro, 2014, s. 127).

CPM LCA veri tabanı içerisinde veri kaynakları olarak: üretici firmalar, genel teknik literatür, süreç tanımları, teorik modeller, YDD raporları ve benzer projeler kullanılmaktadır (Flemstörm ve Palsson, 2003, s. 22).

Probas içerisinde ise bilimsel veri kaynakları kullanılmaktadır (Severith ve Manthey 2012, s. 6).

Sistem sınırları

ecoinvent v2 içerisinde genellikle beşikten-kapıya sistem sınırları uygulanmaktadır (Martínez-Rocamora ve diğ 2016, s. 567).

GaBi veri tabanında YDE için oluşturulmuş standart veri setleri beşikten-kapıya sistem sınırları ile geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra veri tabanı içerisinde kapıdan-kapıya ve beşikten-mezara sistem sınırları ile modellenmiş veri setleri de bulunmaktadır. (Kupfer ve diğ, 2017, s. 30-32; Martínez-Rocamora ve diğ 2016, s. 567).

ELCD içerisinde beşikten-kapıya, beşikten-mezara sistem sınırları uygulanmaktadır (European Commission, 2010, s. 26).

Plastics Europe eco-profiles veri tabanı, paketlemeyi içermeyen beşikten-kapıya bir süreci değerlendirir. Bazı çalışmalarda kapıdan-kapıya süreç değerlendirilmiştir (Plastics Europe, 2019, s. 9).

Athena ve Base Carbone veri tabanları, beşikten-mezara sistem sınırlarını içerirler (Martínez-Rocamora ve diğ 2016 s. 567-568).

US LCI veri tabanında ise beşikten kapıya, kapıdan-kapıya ve beşikten-mezara sistem sınırları bulunur (Athena Sustainable Materials Institute ve diğ, 2003, s. 28; URL-19).

CPM LCA ve Bedec veritabanları ise beşikten–kapıya bir süreci değerlendirmektedir (Flemstörm ve Palsson, 2003, s. 3; Martínez-Rocamora ve diğ, 2016, s. 568).

İşlevsel birim

ecoinvent içerisinde birim süreç hesaplamaları için işlevsel birimin kullanıldığı görülmektedir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 20).

GaBi veri tabanında yapı malzemelerinin değerlendirilmesinde malzemenin yerine getireceği işlev ile uyumlu bir işlevsel birimin seçilmesinin önemli olduğu, kütleye dair kıyaslamaların yanlış sonuçlara yol açabileceği belirtilir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 121). GaBi veri setlerinde işlevsel birim, çalışılan ürün çıktıları hedeflenerek tanımlanır. Ürünle ilişkili olarak değişkenlik gösterse de GaBi veri setlerinde kullanılan işlevsel birimler 1 kg, 1 MJ, 1 ton, 1 m^3 olarak tanımlanan metrik SI birimleridir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 31). Standart GaBi veri setlerinin yanısıra, GaBi veri tabanında BS EN 15804 ile uyumlu veri setleri de bulunmaktadır (Kupfer ve diğ, 2017, s. 121). BS EN 15804 içerisindeki zorunlu süreçler olan beşikten-kapıya sistem sınırlarına dair çalışmalarda deklare edilmiş birim kullanılmalıdır (BS EN 15804:2012, s. 14)

ELCD içerisinde referans akışlar, SI birimlerinden ifade edilen işlevsel birime bağlı olarak değerlendirilmektedir (European Commission, 2010, s.9, 19).

Plastics Europe eco profiles içerisinde referans akış ve beyan edilmiş birim olarak kapıda 1 kg polimer reçinesi alınmaktadır (Plastics Europe, 2011 s. 12; Plastics Europe, 2019, s. 4).

US LCI veri tabanında işlevsel birim kullanılmaktadır (American Center for Life Cycle Assessment, 2010, s. 10).

CPM LCA veri tabanı içerisinde girdi ve çıktı akışlarının ilişkilendirildiği birim, işlevsel birimdir (Flemström ve Pålsson, 2003, s. 17).

Kapsam kararları

Kapsam kararları içerisinde: enerji, su, atık yönetimi, ulaşım ve altyapının dahil edilip edilmediği ve bu başlıklara ilişkin detay derecesi incelenmiştir.

Enerji açısından farklı veri tabanlarının konuya bakış açıları değerlendirildiğinde:

- Yenilenebilir/ yenilenmeyen enerjilerin ayrı kayıt edilmesi
- Üretim enerjisinin yanı sıra: alet, ekipman gibi alanlarda tüketilen enerjilerin dahil edilip edilmeyeceği

karar verilmesi gereken temel konulardır.

ecoinvent içerisinde elektrik enerjisi ve ısı enerjisi ayrı ayrı değerlendirilir. Isı enerjisi hesaplamalarında iki durum olasıdır. Birinci durum: kullanım sırasında ortaya çıkan salımlar, makine verimi vb. faktörlerin bilindiği koşullardır. Bu durumda hesaplamalar

bu bilgiler üzerinden yapılır, gerekli hallerde hesaplamalar altyapı ya da salım faktörlerine dair jenerik bilgiler ile desteklenir. İkinci durum ise: enerji miktarı ve türünün bilindiği durumlardır. Bu durumda kazanlara dair jenerik veri setleri kullanılarak hesaplamalar yapılır. Elektrik kullanımında ise: elektrik şebekeleri, ekonomik duruma bağlı olarak, birincil kaynak (hidrolelektrik, termik, yenilenebilir, vb) oranına uygun olarak modellenir. Şebekelere dahil olmayan durumlar için özel elektrik oranları uygulanabilir. Veri tabanında üretim ve tedarik oranları farklıdır. Ülkeye veya üretim tesisine özgü elektrik şebekesinin kullanılması gereken durumlarda uygun tedarik oranı seçilmelidir. Elektrik kullanımı için dört farklı voltaj seçimi ile işlem yapılır. Bunların ilki sadece enerji üretimi için kullanılır, şebekeden çekilecek enerji diğer üç voltaj türü üzerinden hesaplanır. Diğer voltaj değerleri yüksek, orta, düşük voltajlar olarak değerlendirilir. Yüksek voltaj sadece üretim tesisinin doğrudan elektrik üretim tesisine bağlı olması durumunda kullanılır. Orta voltaj otomobil, çelik endüstrisi gibi endüstriler için kullanılan voltajdır. Düşük voltaj ev, tarım ve ticari etkinlikler için kullanılan voltaj türüdür. Doğru voltaj seviyesinin seçilmesi için bilgi kaynağının doğruluğu önemlidir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 11-12, 16-17).

GaBi veri tabanı içerisinde enerji değerlendirmesi ilkesel olarak, genellikle oluşum enerjisi ile ilişkilidir ve kümülatif enerji yaklaşımı ile değerlendirilir. GaBi veri tabanının baz aldığı ISO 14040 serileri ve ILCD rehberi içerisinde bir yöntem önerilmemesine rağmen, GaBi içerisinde yenilenebilir ya da yenilenemeyen enerjilerin bir arada değerlendirilmesinin yanlış sonuçlara yol açmaması için, genellikle YDD raporlama aşamasında ayrı raporlanır. Çünkü birincil enerjinin kümülatif değerlendirilmesi de gereklidir. Yenilenebilir enerjinin farklı değerlendirilmesi özellikle, enerji eldesinde yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanan ülkeler için önemlidir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 63-64).

ELCD içerisinde enerji kaynaklarına dair elementer akışlar yenilenebilir ya da yenilenemeyen kaynaklardan olup olmadıkları gözönüne alınarak kaydedilirler (European Commission, 2010, s. 65). Bu şekilde envanter hesaplamalarında yenilenebilir enerjinin katkısı değerlendirilebilir.

Plastics Europe eco-profiles içerisinde enerji: yenilenebilir, fosil yakıt ve biyokütle gibi ayrımlarla kaydedilir (Plastics Europe, 2011, s. 31-36; Plastics Europe, 2019, s. 21-22, 27).

Athena Impact Estimator 4.1 içerisinde enerji kullanıma dair veriler göz önüne alınmaktadır. Ancak elektrik kullanımı gibi ülkeler arası farklılıklar içeren konularda malzeme farklı bir ülkeden gelmişse, ABD koşulları göz önüne alınmaktadır (Athena Sustainable Materials Institute, 2019, s. 14).

US LCI içerisinde: belirli enerji kaynakları; bu kaynakların üretimi için gereken enerji elektrik; nakliye için kullanılan enerjiler ayrı ayrı değerlendirilir (Athena Sustainable Materials Institute, 2004, s. 8-10).

CPM LCA içerisinde enerji ve elektrik şebekesi ile ilişkili verilerin kayıt altına alınması önerilmektedir (Flemström ve Pålsson, 2003, s. 35).

Su verilerinin değerlendirilmesinde farklı veri tabanlarının konuya bakış açıları değerlendirildiğinde:

- Suya dair verilerin kayıt altına alınıp alınmadığı,
- Bu verilerin sınıflandırılması arasındaki farklılıklar

veri tabanları arasında farklılıklar yaratmaktadır.

ecoinvent içerisinde su kullanımı kayıt altına alınmaktadır ve elementer akışların kayıdı sırasında detaylandırma yapılmamaktadır (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 24).

Su kullanımına dair veriler GaBi içerisinde çok detaylı olarak incelenmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Su kullanımı hidrolojik bakış açısı ile ele alınmaktadır, ancak etki değerlendirmesi anlamında sadece tükenebilir nitelikteki temiz su kaynakları göz önüne alınmaktadır (Kupfer ve diğ, 2017, s. 44-52).

Su kullanımına dair bilgiler ELCD içerisinde elementer akışlar ölçeğinde: girdi, çıktı ve su kalitesinde değişiklikler olması durumu olarak üç farklı başlık altında biriktirilmektedir (European Commission, 2010, s. 66).

Plastics Europe eco profiles içerisinde su kullanımına dair bilgiler kayıt altına alınmaktadır (PlasticsEurope, 2011, s 37; PlasticsEurope, 2019, s. 22-26).

CPM veri tabanında atık su kullanımı ve suya salımlara ilişkin verilerin kayıt altına alınması önerilmektedir (Flemstörm ve Palsson, 2003, s. 37).

Atık yönetimi konusunun farklı veri tabanları içerisinde uygulanması değerlendirildiğinde:

- Atık bertarafının sistemin bir parçası olarak görülüp görülmediği,

- Atık ve geri dönüşümde kullanılan malzeme arasındaki farklılıklar,
- Ülkelere dair atık bertaraf senaryoları (yöntem, yüzde, mesafe vb)

veri tabanları arasında farklılaşmalara yol açan temel başlıklardır.

ecoinvent içerisinde, atık bertarafı teknolojik sistemin bir parçası olarak görülmekte ve çalışılmakta olan teknolojik sistemin bir parçası olarak göz önüne alınması beklenmektedir. İnşaat atıkları için mümkün olanlar geri-dönüşüme dahil edilir, bunların dışında kalan kirletilmemiş atıklar nakliyesi de düşünülerek belediye katı atık yakma sürecinde değerlendirilir. ecoinvent veri tabanı veri toplama modellemesinde, yapı malzemelerinin atık bertaraf yöntemi olarak geri dönüşüm ve yakmanın yanı sıra araziyi doldurma da bulunmaktadır (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 18).

GaBi'nin temel aldığı ILCD yaklaşımında atık işlemleri sürecin parçası olarak düşünülerek, tüm atıklar elementer akışlar seviyesine kadar modellenmelidir. GaBi içerisinde farklı atık bertaraf sistemleri kurgulanmıştır. Farklı malzeme, süreçlerine uygun farklı atık bertaraf sistemleri ile modellenmektedir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 52, 54). GaBi veri tabanında inşaat sektöründe geri-dönüşüm potansiyeline önem verilir ve geri dönüştürülmüş ürün kullanımının çevresel etkilerin azalmasına katkısının değerlendirilmesi önerilir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 121, 52). Herhangi bir malzeme geri dönüşüm-yeniden kullanım açısından ekonomik bir değere sahipse, bu malzeme atık olarak değerlendirilmemektedir ve çevresel yükü gerekli dağıtımlar yapılarak paylaştırılır (Kupfer ve diğ, 2017, s. 52, 54).

ELCD içerisinde atık yönetimi dahil edilmiştir (European Commission, 2010, s. 39).

Plastic Europe eco profiles v3 içerisinde atık yönetimi kapsam dışı bırakılmıştır (Plastic Europe, 2019, s. 9).

Athena Impact Estimator v5 içerisinde, binanın yıkımı sonrasında malzemelerin geri dönüşümlerinin değerlendirilmesinde günümüz koşulları göz önüne alınmıştır. Metaller dışındaki malzemenin geri dönüşüm, yeniden kullanım veya yakılması ile elde edilen enerji gibi girdiler sonraki malzeme döngüsüne dahil edilmektedir. Metaller içi geri dönüşüm değerlendirilmekte ve özellikle alüminyum ve çelik için geri dönüşümde kapalı döngüler yaklaşımı kullanılmaktadır (Athena Sustainable Materials Institute, 2019, s. 28).

US LCI içerisinde, yaşam sonu değerlendirmesine dair bazı genel modüller YDE içerisine eklenerek kullanıcıların ürün sistemlerini geliştirmesi desteklenebilir (Athena Sustainable Materials Institute ve diğ 2003, s. 18).

BEDEC içerisinde atık yönetimi değerlendirilmektedir (URL-18).

Ulaşım açısından farklı veri tabanlarının konuya bakış açıları değerlendirildiğinde:

- Ulaşımın hangi kapsamda dahil edileceği,
- Mesafelerin özel mesafeler ya da genel hesaplamalar içerisinden seçilip seçilmediği

karar verilmesi gereken başlıklardandır.

ecoinvent içerisinde nakliyeye dair hesaplanmalar için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ancak genellikle ulaşıma dair verilerin çok genel olduğu, bu alandaki verilerin geliştirilmesi ve özelleştirilebilmesine dair çalışmaların yapılması gerekliliği vurgulanmaktadır (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 12-15).

GaBi veri tabanı içerisinde genel kural olarak bilinen tüm nakliye süreçleri çalışmaya dahil edilmektedir. Nakliye verileri; nakliye türü, mesafe, yakıt tipi gibi kriterler göz önüne alınarak çalışmalara dahil edilir. Özellikle malzemenin (ya da ürünün) ağırlığı ve nakliye mesafesinin uzunluğu nedeniyle nakliye sürecinin çalışmalara önemli katkısının olduğu sistemlerde, nakliyeye dair verilerin çalışmalara dahil edilmesi gerekmektedir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 43-44).

Athena veri tabanında ulaşım kapsama dahildir (Martínez-Rocamora, 2016, s. 567).

CPM LCA veri tabanında, nakliye verilerinin kayıt altına alınması önerilmektedir (Flemstörm ve Palsson, 2003, s. 35).

Altyapı konusu farklı veri tabanlarının bakış açısıyla incelendiğinde:

- Altyapının hesaplamalara dahil edilip edilmediği,
- Makine, techizat, işletim masrafları vb'nin altyapı içerisinde değerlendirilip değerlendirilmediği,
- Arazi kullanımı ve dönüşümüne dair veriler

çalışmalar arasında farklılıklara yol açar.

ecoinvent altyapıya ve üretime dair verilerin ayrı ayrı biriktirilmesini önerir. ecoinvent içerisinde, hem altyapıyı içeren, hem altyapıyı içermeyen çalışmalar yapılabilmesine rağmen, ecoinvent v2 içerisinde sadece altyapıyı içeren hesaplamalar

yayınlanmaktadır. Çalışmaların bazılarında arazi kullanımı ve dönüşümü ile altyapı arasındaki sınır belirsizleşebilir; bu nedenle arazi kullanımı ve dönüşümü ecoinvent içerisinde genellikle altyapı ile ilişkilendirilen bir değişkendir. Altyapının çalışma kapsamına dahil edilmesinin sonuçları önemli ölçüde etkileyeceğine dair çalışmalar dolayısıyla, ecoinvent veri tabanında arazi kullanımı ve dönüşümüne dair verinin toplanması vurgulanmaktadır. Ancak alt yapıya dair bilgilerin tutarlı bir sistem içerisinde biriktirilmesi seyrektir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 15).

GaBi veri tabanı, altyapı açısından incelendiğinde bu değişkenin dahil edilip edilmemesinin, çalışma özelinde değerlendirilmesi gerektiğini belirtir. Ancak GaBi veri tabanında tüm enerji veri setleri, tutarlılık ilkesi gereği, altyapının da içerildiği şekilde hesaplanmıştır (Kupfer ve diğ, 2017, s. 64-66).

ELCD içerisinde arazi kullanımı ve dönüşümünden kaynaklanan salımların kayıt altına alınması gerekir (European Commission, 2010, s. 66).

Plastics Europe eco profiles içerisinde tesis ve araçlar gibi altyapıya dair bileşenler kapsam dışı bırakılabilir ya da içerilebilir (PlasticsEurope, 2019, s. 9).

Kesim kuralları

ecoinvent veri tabanında ISO 14044 ile uyumlu olarak: kütle, enerji ya da sebep olacağı çevresel etkinin büyüklüğüne bağlı olarak girdilerin dahil edilip edilmeyeceği değerlendirilir. ecoinvent v2'de net kesim kuralları bulunmamaktadır, uzmanlar girdilerin ya da çıktıların dahil edilip edilmemesine karar verirler. Kullanılan miktar az olmasına karşı ortaya çıkan çevresel etki yüksek olan özel akışlar (örn: metallerin çıkarılması) sürece dahil edilir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 10). Ecoinvent veri tabanı içerisinde ekonomik harekete fazla katkısı olmayan ancak yaşam döngüsünün takip eden süreçlerinde (geri dönüşüm v.b.) kullanılacak olan yan ürünler girdi ve çıktı olarak göz önüne alınmaz.

GaBi veri tabanı içerisinde bilinen üç kesim kuralı bulunmaktadır. "Veri eksikliği dolayısıyla tanımlı bir girdinin yukarı yönlü akış ile ilişkilendirilememesi" ile ilişkili sorunlarda: içerikteki bir madde ile ilgili YDD'ye esas olan envanter bilgileri bulunmuyorsa, fiziksel/kimyasal ilişkili bir başka ürün kullanılarak bu maddenin olası etkileri için "tedbirlilik ilkesi" ile bir senaryo geliştirilir. Tedbirlilik ilkesi ile oluşturulan senaryoda, etkiler özellikle kısmen yüksek tutulur. Eğer oluşturulan senaryonun tüm çıktılara etkisi %5'den az ise, boşluk bu senaryo ile doldurulabilir.

Eğer %5'den daha fazla bir etki var ise sadece bu senaryo sonucuna göre hesaplama yapılmaz. Böyle bir durumda ya daha çok bilgi toplanmalı ya da envanter sonuçlarının güvenilirliği, duyarlılık analizi ile nicel olarak değerlendirilmelidir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 39). Kesim yapılmasını gerektiren bir diğer durum ise "bilinen bir sebeple kütle ya da enerji dengelerinde bir tutarsızlığın olması" koşuludur. Bu tür tutarsızlıklar genellikle su buharı, nem, havada reaksiyona sebep olan gazların neden oldukları kütle ya da enerji dengeleridir. Bu tür kesimler, hesaplamanın iş yükünü çok arttırması ve kesim yapılmasının hesaplamalarda sadece çok ufak bir farklılığa sebep olması koşullarını sağlaması halinde uygulanır. Temel olarak GaBi veri tabanı içerisinde fiziksel ve termodinamik kurallara uyulur. GaBi birim süreç veri setlerinde, kütle dengesinde %1'den daha az olan akışların kesimleri kabul edilmektedir. Yapılan çalışmalarda çevresel etkisi %1'den yüksek etkisi olacak bilginin, endüstri ile beraber çalışmalarda elde edilebildiği görülmektedir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 39-40). Üçüncü tür kesim kuralı ise "bilinmeyen bir sebepten kaynaklanan bilinen ya da bilinemeyen tutarsızlıklar"dır. Bunlar bilgi eksikliği ya da hatalardan meydana gelmiş olabilirler. Bu durumun veri setinin diğer çalışmalarda doğru kullanılabilmesi raporlanması gerekmektedir. Bu tür kesimlerde GaBi veri tabanı içerisinde hatanın kaynaklandığı alanlar tespit edilmeye çalışılmaktadır. GaBi veri tabanı içerisinde süreç akışlarına hakim ve kesim kuralları uygulanacak malzeme ve enerji akışlarının olası etkilerini bilen YDD uzmanları kesim kurallarının tanımını ve doğrulanmasını yaparlar (Kupfer ve diğ, 2017, s. 40).

ELCD veri tabanı için çevresel etkilerin %95'ini sağlayacak miktarda girdi-çıktı verilerinin varlığı yeterlidir. Kalan kısım için kesim kuralları uygulanabilir (European Commission, 2010, s. 27).

Plastics Europe eco-profiles içinde %98 kütle ya da enerji akışlarının bilinmesi yeterlidir. Ancak bu kapsamda da olsa çevresel etkisi yüksek akışların kapsam dışı bırakılmamasına dikkat edilmelidir (Plastics Europe, 2011, s. 18; Plastics Europe, 2019, s. 11).

US LCI birim süreç başına %5 oranında kütle ya da enerji akışları kapsam dışı bırakılabilir. Ancak zehirli olarak değerlendirilen herhangi bir akış ne kadar düşük miktarda olursa olsun kapsam dışı bırakılamaz (Athena Sustainable Materials Institute, 2004, s. 7).

CPM LCA veri tabanında, elementer akışlar, ara ürün akışları ve süreçler için neden ve kapsam belirtilerek kesim yapılması mümkündür (Flemstörm ve Palsson, 2003, s. 24-25).

Elementer akışlar

ecoinvent içerisinde elementer akışlara dair bilginin mümkün olan en detaylı şekilde derlenmesi hedeflenmektedir. ecoinvent içerisinde teorik olarak bütün elementer akışlara yer verilmektedir. Ancak çeşitli sebeplerle kullanılmayacak ya da sorunlu etki değerlendirme kategorilerine dair akışlar gözardı edilmektedir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 22).

GaBi içerisinde de elementer akışların hepsi önceden tanımlanmıştır. Çalışmanın özelliğine bağlı olarak kullanıcının akış eklemesi nadiren gerekebilir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 95, 153). Ayrıca BS EN 15804 ile uyumlu oluşturulan veri setleri için, değerlendirilmesi gereken 24 etki kategorisi ve bunlarla ilişkili referans akışlar bulunmaktadır (Kupfer ve diğ, 2017, s. 124).

ELCD içinde, doğadan alınan kaynaklar ve doğaya yapılacak salımların (gerekirse etki değerlendirmesi ile ilişkili alt-kompartmanlar düzeninde) ve YDED sebebiyle kayıt edilmesi gereken ekosfer ile ilişkili diğer girdi-çıktıların elementer akışlar olarak belirtilmesi gereklidir. Bunların yanı sıra atık akışları ve ürün akışları olabilir (European Commission, 2010, s. 56). Veri seti, kapsama bağlı olarak belirli bir grup elementer akış ile oluşturulabilir (European Commission, 2010, s. 9). Elementer akışlar, kapsam dışı bırakılan akışlar ve kesim kuralları çerçevesi çalışmanın başında belirlenmelidir (European Commission, 2010, s. 26).

Plastics Europe eco-profiles veri tabanında madde akışları, organik bileşenler ve metaller özellikle ILCD formatı gözönüne alınarak kaydedilir (Plastics Europe, 2019, s. 13). PRTR, CAS/UIPAC sayıları, AB hava ve atık su salımları ve diğer gerekler de gözönüne alınır (Plastics Europe, 2011, s. 20-21).

US LCI içerisinde, TRACI başta olmak üzere diğer sistemlerdeki karakterizasyon yöntemleri için gereken elementer akışların biriktirilmesi önceliklidir (Athena 2004, s. 7).

CPM veri tabanında ilişkili akışların ilgili dokümanda belirtildiği gibi isimlendirilerek kayıt edilmesi beklenmektedir (Flemstörm ve Palsson, 2003, s. 38).

Veri tabanlarının, “toplanması için hazırlık” adımına dair kuralları Çizelge 3.1’de özetlenmiştir [(1) Frischknecht ve diğ, 2007. (2) Kupfer ve diğ, 2017. (3) BS EN 15804:2012. (4) European Comission, 2010. (5) PlasticsEurope, 2011. (6) Athena Sustainable Materials Institute, 2004 (7) Casademont ve Alfaro, 2014. (8) Flemstörm ve Palsson, 2003. (9) Severith ve Manthey, 2012, (10) Martínez-Rocamora ve diğ, 2016. (11) URL-19. (12) URL-18. (13) PlasticsEurope ,2019, (14) Athena Sustainable Materials Institute ve diğ, 2003, (15) Athena Sustainable Materials Institute, 2019,].

3.4.1.2 Veri toplanması

Veri toplanması başlığı: veri toplanması yöntemi ve veri biriktirilmesi alt başlıkları altında detaylandırılmıştır.

Veri toplanması yöntemi

ecoinvent içerisinde veri toplama için referans yıl belirlenir ve-sadece verinin az ya da yetersiz olduğu durumlarda daha eski veriler kullanılmaktadır. YDD yaklaşımı dolayısıyla kapsam dışı bırakılmış coğrafi alan bulunmamaktadır, ancak bazı bölgelere ait veri bulunmaması nedeniyle bu bölgeler dair çalışmalar da gerek duyulması halinde varsayımlar ve tahminler yapılmaktadır. Veri toplanması konusunda genellikle teknolojik kapsam güncel kullanılan teknolojidir. Ürünlere bağlı olarak teknolojik kapsam: piyasadaki teknolojilerin ortalaması, var olan en iyi teknoloji ve gelecekteki en iyi teknoloji olarak da değerlendirilebilir. Bir bölge ya da ülkeye dair ortalama veri hesaplamalarında, kıyaslanabilir süreçlerle üretim gerçekleştiren tedarikçilerin verilerinin ortalaması alınmaktadır (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 9-10).

GaBi veri tabanı içinde veri toplanmasına dair adımlar:

- Çalışmanın temel üretim tekniğinin belirlenmesi,
- Analiz edilecek üretim sisteminin jenerik durumunun değerlendirilmesi,
- Özel bir ürün sistemi için üretimde karakteristik öneme sahip süreçlerin belirlenmesi (Bu aşamada endüstri ve uzmanlarla beraber çalışılması önerilir.),
- Duruma göre üretilmiş bir veri toplama kağıdı oluşturulması. (Veri toplama kağıdı oluşturulmasında: akış diyagramı ile desteklenecek şekilde, gerçekçi bakış açısı ile, mümkün olduğu kadar detaylı ve verimli bir abak oluşturmak hedeflenir.),

Çizelge 3.1 : Veri tabanlarının "veri toplanması için hazırlık" adımına dair kuralları.

	Veri türü	Sistem sınırları	İşlevsel birim	Kapsam kararları	Kesim kuralları	Elementer akışlar
ecoinvent (İsviçre)	Basılı yayınlar, resmi istatistikler, kişilerden elde edilen bilgiler, uzman tahminleri, teorik bilgilerden üretilmiş verilerdir (1 s45).	Beşikten-kapıya (10 s567).	İşlevsel birim kullanılmaktadır (1 s20).	Enerji verileri elektrik ve ısıl enerji olarak ayrı ayrı ve uygun detay seviyesinde biriktirilir. Su kullanımı genel olarak kayıt altına alınır.Nakliye için çoğunlukla genel verilerden faydalanılır. Atık bertarafı (geri dönüşümü de kapsayarak) değerlendirilmektedir. Altyapının (arazi kullanımı ve dönüşümüni kapsayarak) dahil edildiği çalışmalar yayınlanmaktadır (1 s11-18).	Kütle, enerji veya çevre etkisine bağlı kesim kuralları uzman görüşüne göre uygulanır (1 s10).	Teorik olarak bütün elementer akışlara yer verilmektedir. Metodolojik sebeplerle bazı akışlar göz ardı edilebilir (1 s22).
GaBi (Almanya)	Birincil veri kaynakları: ölçülen, hesaplanan veya tesis kayıtlarından elde edilen bilgilerdir. İkincil veri kaynakları: basılı yayınlar, şirketlerin çevresel raporları, şirketlerin YDD ve YDE çalışmaları, salım limitleri ve resmi istatistiklerdir (2 s72).	Çoğunlukla beşikten- kapıya. Ayrıca beşikten-mezara, kapıdan-kapıya (2 s30-32, 10 s567).	Yapı malzemeleri için hem SI birimlerinden oluşan işlevsel birimlerle veri setleri, hem de EN 15804 ile uyumlu veri setleri oluşturulmaktadır (2 s31, 121). EN 15804 içerisinde zorunlu süreçler olan beşikten-kapıya süreçlerde deklare edilmiş birim kullanılmaktadır (3 s14).	Enerji (yenilenebilir/yenilenmeyen) ve nakliye (nakliye türü, uzaklık, yakıt tipi) detaylandırılarak kaydedilir. Su ve atıklara (geri dönüşüm dahil) ilişkin veriler kayıt edilir. Altyapı çalışmaya özgü bir parametredir (2 s41-52, 63-66).	Tanımlı ya da bilinen koşullarda en fazla %5-%1 ölçeğinde kesimlere izin verilir. Bilinmeyen sebepler nedeniyle olan kesimler raporlanmalıdır (2 s39-40).	Olası tüm elementer akışlar önceden tanımlanmıştır, Kullanıcının ekleme yapma olasılığı düşüktür (2 s153).
ELCD (Avrupa Komisyonu)	Birincil veri kaynakları: süreç ya da tesis verileri, faturalar, salım ölçümleri, ürünler ve atıkların bileşenleridir. İkincil veri kaynaklar: tarifler ve formüller, patentler, stokiyometrik modeller, süreç ve ürün spesifikasyonları ve testleri, yasal limitler, benzer süreçler vb.'dir (4 s56-57).	Beşikten-kapıya, Beşikten-mezara (4 s26).	Malzeme için çoğunlukla temel teknik özelliği üzerinden bir referans akış (aynı zamanda deklare edilmiş birim) tanımlanır (4 s19).	Enerji yenilenebilir olan ve olamayan olarak kaydedilir (4, s65). Su ve arazi kullanımı girdiler içerisinde kaydedilmelidir (4, 66). Atık yönetimi dahil edilmiştir (4, s39).	Kesim kuralları ya çevresel etkilere bağlı olarak, ya da envanter analizi ölçeğinde (hedefte tanımlanarak ya da tekrarlı süreçler sırasında oluşturulur (4 s27). .	Veri setlerinde sadece kapsam ile ilişkili elementer akışlar bulunabilir (4, s9).

Çizelge 3.1 (devam): Veri tabanlarının "veri toplanması için hazırlık" adımına dair kuralları.

	Veri kaynakları	Sistem sınırları	İşlevsel birim	Kapsam kararları	Kesim kuralları	Elementer akışlar
Plastics Europe Eco-profiles	Birincil veri kaynakları: özellikle ölçümlere ardından hesap ve tahmine dayanan tesis verisidir. İkincil veri kaynakları: literatür, diğer veritabanlarıdır (5 s18-19; 13 s12).	Çoğunlukla, Beşikten-kapıya, bazı durumlarda kapıdan kapıya (13 s9).	Referans akış ve beyan edilmiş birim: kapıda 1 kg polimer reçinesidir (5 s12; 13 s4).	Enerji yenilenebilir, fosil yakıt ve biyokütle gibi ayrımlarla kaydedilir. Su kayıt altına alınır. Atık yönetimine dair modelleme yapılmaktadır.Tesis, araçlar dahil edilebilir ya da kapsam dışı kalabilir. Yaşam sonu değerlendirmeleri kapsam dışıdır. (5 s 14, 15, 31, 37; 13 s9, 21-26).	Birim süreç bazında en fazla %2'lik kütle veya enerji girdisi için kesim uygulanabilir. Çevresel etki yüksekse kesim yapılmamalıdır. Uygulanan kesimin uygunluğu, mümkünse hassasiyet analizi ile değerlendirilebilir (5 s 18; 13 s 11).	Madde akışları, organik bileşenler ve metaller: özellikle ILCD formatı gözönüne alınarak kaydedilir (13 s13). PRTR, CAS/UIPAC sayıları, AB hava ve atık su salımları ve diğer gerekler de gözönüne alınar (5 s 20-21).
Athena database (Kuzey Amerika)	Bilgi bulunamadı.	Beşikten-mezara (10 s567)	Bilgi bulunamadı.	Enerji şebekesi, ulaşım ve geri dönüşüm kapsama dahildir (10 s567; 15 s 14-15, 28)	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.
US LCI database (Birleşik Devletler)	Birincil veriler tesislerden elde edilen verilerdir. İkincil veriler ise (diğer YDE çalışmaları, salım izinleri, genel hükümet istatistikleri vb.) basılı kaynaklardan elde edilen verilerdir (6, s6).	Beşikten-kapıya, kapıdan-kapıya, beşikten mezara (14, s28; 11)	İşlevsel birim kullanılmaktadır (6, s6).	Enerji kullanımı içerisinde: belirli enerji kaynakları, bu kaynakların üretimi için gereken enerji elektrik, nakliye için kullanılan enerjiler ayrı ayrı değerlendirilir (6, s8-10). Yaşam sonu değerlendirmesine dair bazı genel modüller YDE içerisine eklenerek kullanıcıların sistemleri geliştirmesi desteklenebilir (14, s18).	Birim süreç başına % 5 oranında kütle ya da enerji girid akışları kapsam dışı bırakılabilir. Ancak zehirli olarak değerlendirilen herhangi bir akış kapsam ne kadar düşük miktarda da olsa kapsam dışı bırakılamaz (6, s7).	TRACI başta olmak üzere diğer sistemlerdeki karakterizasyon yöntemleri için gereken elementer akışların biriktirilmesi önceliklidir (6, s7).

Çizelge 3.1 (devam): Veri tabanlarının "veri toplanması için hazırlık" adımına dair kuralları.

	Veri kaynakları	Sistem sınırları	İşlevsel birim	Kapsam kararları	Kesim kuralları	Elementer akışlar
Base Carbone (Fransa)	Bilgi bulunamadı.	Beşikten-mezara (10 s568).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.
BEDEC database (İspanya)	Jenerik çevresel veri bankası kullanılır. Ancak üreticilerden gelen veri ile özelleştirme mümkündür (7 s127).	Beşikten-kapıya (10 s568).	Bilgi bulunamadı.	Atık yönetimi değerlendirilmektedir (12).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.
CPM LCA database (İsveç)	Basılı kaynaklar, kişisel iletişim, veri tabanları vb kullanılır (8 s22).	Beşikten-kapıya (8 s3).	İşlevsel birim ile hesaplamalar yapılmaktadır (8 s17).	Enerji, elektrik şebekesi, nakliye, atık su kullanımı ve suya salımlara ilişkin verilerin kayıt altına alınması önerilmektedir (8 s35-37).	Elementer akışlar, ara ürün akışları ve süreçler: nedeni ve tanımı yapılarak kapsam dışı bırakılabilir (8 s24-25).	İlişkili akışların ilgili dokümanda belirtildiği gibi isimlendirilerek kayıt edilmesi beklenmektedir (8 s38).
ProBas (Almanya)	Almanya'ya ait, bilimsel çalışmalardan elde edilmiş jenerik veriler kullanılmaktadır (9 s6).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Su ve atıklara dair veriler kaydedilmektedir (9 s6).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.

- Gelen verilerin tutarlılık ve kalite açısından kontrollerinin yapılması. (Kütle ve enerji dengeleri, salım ve madde dengeleri, genel süreç özelliklerinde kabul edilebilirliğin kontrolü sağlanır.),
- Geri beslemelerin veriyi sağlayan ve veriyi kontrol eden mekanizmalara bildirilmesidir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 93).

GaBi veri tabanı veri toplama süreci içerisinde: resmi olmayan el yazısı dökümanlar, önceden oluşturulmuş formatların doldurulması, GaBi süreç kayıt aracı ve internet tabanlı uygulamalar kullanılabilir. Toplanan veriler bir onaylama sürecine tabi tutulurlar ve onaylanan veriler GaBi içerisinde kullanılırlar (Kupfer ve diğ, 2017, s. 94).

ELCD içerisinde akış diyagramları ile uygun veri toplanması yapılmalıdır. Veri toplama kağıtlarıyla yapılan verinin yanısıra, ortalama ve jenerik veriler kullanılabilir. Bu ortalama ve jenerik verilerin uygun temsiliyette olması sağlanmalıdır. Diğer veriler uygun istenen kaliteyi sağlaması koşulunda veri tabanlarından alınarak kullanılmaktadır (European Commission, 2010, s. 53-54). ELCD içerisinde veri toplanmasının planlanması:

- Teknik akış diyagramlarının çizilerek ön plan ve arka plan sistemler arasındaki ilişkinin kurulması,
- Ortalama ya da jenerik veri kullanımının uygun olduğu alanların belirlenmesi,
- Veri kaynaklarının belirlenmesi (Bu adımda verinin bulunabilirliği ve uygunluğu göz önüne alınmalıdır.),
- Verinin SI birimleri olarak toplanması,
- Çok yıllık ya da jenerik verinin tercih edilip edilmeyeceğinin kararının verilmesi,
- Uygunluğu yeterli verilerin toplanması (önceden üretilmiş, kaliteli ve süreç ile uyumlu verilerin kullanılması, veri toplanması adımındaki emeği azaltan bir unsur olarak kabul edilir.),
- Ortalama verilerin uygun temsiliyeti sağlaması,
- Jenerik verinin uygun temsiliyeti sağlaması,
- Özel veri toplama formları (ürüne özgü akış diyagramları ile özel veri toplama formlarının) oluşturulması

adımları ile gerçekleştirilir (European Commission, 2010, s. 52-54).

Plastics Europe eco-profiles içerisinde YDE uygulayıcısı uygun formları oluşturarak, firmalarla anket yapar (PlasticsEurope, 2019, s. 14). Ortalama endüstri verileri üreticiye göre ağırlıklandırılarak veriler oluşturulur (Martínez-Rocamora ve diğ, 2016, s. 578).

Athena içerisinde genellikle 10 seneden eski olmayan veriler bulunur (Athena Sustainable Materials Institute, 2019, s. 15).

US LCI içerisinde birim süreçler için ortalama veriler, tüm teknolojilere ait verilerin toplanması ve ağırlıklı ortalamalarının alınması ile hesaplanır (Athena Sustainable Materials Institute, 2004, s. 6). Önemli hammadde ve atık akışlarına dair veriler de toplanmalıdır (Athena Sustainable Materials Institute 2004, s. 7). Veriler mümkün olduğunca kümelendirme yapılmadan kaydedilir (Athena Sustainable Materials Institute, 2004, s. 10).

CPM LCA veri tabanı içerisinde veri toplanması adımında üretici firmalardan toplanan veri, anketler ve kişisel iletişim ile yapılmaktadır. Bunun yanı sıra şirketlerin çevresel raporları kullanılabilir, ancak bu durumda verinin yeniden modellenmesi gerekebilir. Genel teknik literatür, süreç tanımları ve teorik modellerden elde edilen bilginin de yeniden modellenmesi gerekmektedir. YDD çalışmaları ya da buna benzer çalışmalardan elde edilen bilgilerin kullanımında, farklı raporlama formatları dolayısıyla eksik bilgilerin olduğu görülmektedir (Flemstörm ve Palsson, 2003, s. 22, 24, 32).

Probas içerisinde genellikle Almanya'ya ait 2000 yılının jenerik verileri kullanılmaktadır (Severith ve Manthey, 2012, s. 6).

Veri biriktirilmesi

ecoinvent'te de kullanılan EcoSpold formatında iki temel başlık: meta-veri ve akış verisidir. Meta veri üst başlığı altında: süreç bilgisi, modelleme ve onaylama ve idari bilgiler sekmeleri yer alır. Akış verileri içerisinde ise değişimler ve dağıtım bilgileri verilir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 49). Bu altlıklar gerekli verilerin uygun biçimde ve-uyum içerisinde biriktirilmesine yardımcı olur. Veri setleri: süreç bilgisi, coğrafya, teknoloji, zaman aralığı, isim, veriseti bilgisi, modelleme ve onay bilgisi, temsil edilebilirlik, kaynak, dağıtım gibi başlıkları içerir (URL-7).

ecoinvent içerisinde "malzeme ve ürünlerin isimlendirilmesi" başlığında isimlendirmeye dair kuralların detaylı olarak yazılmış olması, isimlerin doğru

verilmesi açısından önemlidir. İsimlerin farklı verilmesi veri setlerinin tamamlanamaması, bazı verilerin tekrarlı şekilde sürece dahil edilmesi gibi problemlere sebep olabilir (Frischknecht ve diğ, 2007). ecoinvent'te elementer akışların isimlendirilmesi SETAC çalışma grubunun çalışmasından şekillenir. Eklenecek elementer akışların: CAS sayıları, formülleri ve IUPAC isimleri ile eklenmeleri gerekmektedir. Tüm çevresel kompartmanlar için bir element ya da bileşiğin adı aynı olmalıdır. ecoinvent isimlendirme kurallarında aynı zamanda birimlerin kullanımına dair kurallar da belirtilmiştir. ecoinvent veri tabanında, işlevsel birimler için kullanılacak birimlerin dışındaki birimlerin SI birimleri içerisinden seçilmesi gerekmektedir. Yapı malzemeleri için işlevsel birimler: beton ve ahşap için m3, diğerleri için kg olarak verilmektedir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 22, 23).

GaBi içerisinde verinin dökümantasyonu ILCD (2010) rehberi çerçevesinde şekillenmiştir. Ancak dökümantasyonun dinamik bir şekilde gelişmesi dolayısıyla, bu rehbere uyulması her zaman mümkün olmamaktadır. Akışlar ve süreç isimlerinin verilmesinde bir hiyerarşi uygulanmaktadır. Akışların hiyerarşisi ya teknik olarak (elementer olmayan akışlar ve kaynaklar için) ya da kompartmanlar olarak (salımlarda: havaya, suya ve toprağa) şekillendirilmiştir. Akışların uygun terimlendirilmesi farklı veri tabanlarının bir arada kullanılabilmesi açısından gerekli ve önemlidir. Bunun yanısıra bu şekilde akışların tekrarlı bir şekilde sistem içerisinde hesaplanmaları engellenebilir. YDE süreç verilerinin dökümantasyonunda da gerekli teknik, arka plan verileri gibi veriler raporlanarak EPD, EcoSpold gibi formatlarla uyumlu olması sağlanmıştır (Kupfer ve diğ, 2017, s. 95, 153-154). GaBi veri tabanında, BS EN 15804 standardı ile uyumlu olarak oluşturulmuş veri setleri eklenmiştir. Ancak kapsam farklılığı dolayısıyla veri tabanı içerisindeki bazı veri setleri; hem ilk veri setleri, hem de BS EN 15804 ile uyumlu veri setleri formatında bulunmaktadır. BS EN 15804 ile uyumlu veri setleri, ilgili standartta belirtilen modüller ve yöntem ile uyumlu gerçekleştirilmiştir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 153).

GaBi içerisinde akışlar: isim, CAS kodu, kısaltma, kimyasal formül, teknik yönler (kalorifik değer, element içeriği, etki kategorisi) ve referans birim ile belirtilmelidir. Veri girişi yapılmadan eşanlamlı terimlerin sistemde olup olmadığı kontrol edilmelidir. GaBi içerisinde hemen hemen tüm elementer akışlar olduğu için, eklenmesi olası bilgiler ara ürün ya da ürün akışlarına dairdir. Süreçler için: ülke, isim (genellikle işlevsel birimi de içerecek şekilde ürünün adı), isme eklemeler, üretim

teknolojisi, referans yıl, veri kalitesi ve tamlık verilmesi gereken bilgilerdir. Planların isimlendirilmesinde ise ilişkili sistem sınırları, temel teknoloji akışı ve sürecin coğrafyası belirtilmelidir. Bütün veriler metrik (SI) birimleri olarak biriktirilmelidir. Eğer emperyal ya da farklı birimlerden çevrim yapıldıysa, çarpım faktörü belirtilmelidir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 154).

ELCD içerisinde SI birimleri ile veri toplanması yapılır (European Comission, 2010, s. 53). ELCD içerisinde kullanılan format, electronic ILCD YDE veri seti formatıdır (European Comission, 2010, s. 38). Bu format openLCA format dönüştürücüsü ile EcoSpold formatlarına dönüştürülebilir (URL-20).

Plastics Europe eco-profiles içerisinde, veriler uygun terimlerle, genellikle ILCD formatına ve terimlendirmesine göre, SI birimleri kullanılarak ve CAS sayıları ile kaydedilir (PlasticsEurope, 2011, s. 30; PlasticsEurope, 2019, s. 14)

US LCI veri tabanına eklenecek tüm orijinal birim süreçlerin ve ara akışların "ILCD isimlendirme anlaşması"na göre isimlendirilmesi gerekir. Süreç ve etkinliğin isimlendirilmesinde: alan adı, işlem, standartlar; üretim türü, konum, nicel akış özellikleri de yer almalıdır. Eğer başka bir veri tabanından alınan verinin uyarlanması söz konusu ise, isimlendirmede buna da dikkat edilmelidir. Elementer akış isimleri de YDED adımında kullanılacak etki değerlendirme yöntemine göre yapılmalıdır. Bu şekilde veri setinin elementer akışlarının ilişkili YDED yöntemi ile uyumlu olması sağlanır (URL-19).

US LCI, openLCA veri biriktirme formatını kullanmaktadır. Bunun sonucu olarak, EcoSpold (v1 and v2) ve ILCD formatlarında girilmiş veriler yeterli olmayabilir. Bu durumda veri eklenmesi için geri gönderilir. US LCI, elementer akışların sınıflandırılması için, EPA Federal LCA Commons elementer akışlarını kulanmaktadır (URL-19).

Bedec veri tabanı İspanya'ya özgü FIEBDC formatı içerisinde veri depolanmasını gerçekleştirmektedir (Casademont ve Alfaro, 2014, s. 126).

CPM LCA veri tabanında kullanılan SPINE formatıdır. Bu veri tabanı için oluşturulmuş format ISO 14048 standartları ile uyumlu olarak geliştirilmiştir. Bu format içerisinde: süreç, modelleme ve onaylama ve idari olmak üzere üç temel veri grubu başlığı bulunur. Bu başlıklar kendi içlerinde detaylandırılarak, YDE verisi için

ISO 14041 standardında tanımlanan tüm bilgilerin uygun sistematik içerisinde biriktirilmesini sağlanır (Flemstörm ve Palsson, 2003, s. 1, 6).

Veri tabanlarının "veri toplanması" adımına dair kuralları Çizelge 3.2'de özetlenmiştir. [(1) Frischknecht ve diğ, 2007. (2) Kupfer ve diğ, 2017. (3) European Comission, 2010. (4) PlasticsEurope, 2011. (5) PlasticsEurope, 2019. (6) Athena Sustainable Materials Institute, 2004. (7) Martínez-Rocamora ve diğ, 2016. (8) Casademont ve Alfaro, 2014. (9) Flemstörm ve Palsson, 2003. (10) Severith ve Manthey, 2012. (11) URL-19, (12) URL-20 (13) Athena Sustainable Materials Institute, 2019.]

3.2.2 Veri tabanlarının veri hesaplanması açısından karşılaştırılması

Veri tabanlarının veri hesaplanması açısından karşılaştırılması: verinin onaylanması, verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi, verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi, verinin kümelendirilmesi ve sistem sınırlarının inceltilmesi alt başlıkları altında incelenmiştir.

3.2.2.1 Verinin onaylanması

Verinin onaylanması adımı: eksik verinin tamamlanması, veri kalitesi ve verinin onaylanması alt başlıklarını içerir.

Eksik verinin tamamlanması

ecoinvent çalışmaları için elde edilmiş veri kısıtlı ise; stokiyometrik hesaplamalar ile bilgiler elde edilebilir. Eğer akışa ya da malzeme salımına dair bilgiler yoksa "makullük değerlendirmeleri" ile eğitimli bir kişi tarafından tahmin yapılır. Bu tahmin değerleri önemli ölçüde etkiliyorsa, yeniden değerlendirmeler yapılmalı, bazı veriler tekrar değerlendirilmelidir. Tahmin, çalışmayı önemli ölçüde etkilemiyorsa bu şekilde hesaplamalara dahil edilebilir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 10).

GaBi içerisinde eksik verinin tamamlanması için yöntem seçimi uzmanlar tarafından yapılır. Yöntem seçimine bağlı olarak boşluk doldurma methodları:

- Literatürden tamamlama yoluna gidilmesi (ancak genellikle bu yöntem ile uygun veri elde edilemez),
- Kimyasal reaksiyonlar için stokiyometrik dengeler ile hesaplamalar yapılması,
- Benzer süreç veya teknolojilerden uygun tahminler yapılması
- Üstteki adımların biri ya da daha fazlasıyla desteklenen uzman görüşü olabilir.

Çizelge 3.2 : Veri tabanlarının "veri toplanması" adımına dair kuralları.

	Verinin toplanması yöntemi	**Veri biriktirilmesi**
ecoinvent (İsviçre)	Genellikle kümelendirme yapılmadan, uygun zaman ve coğrafi kapsama sahip ve genellikle güncel ortalama teknolojik süreçleri değerlendiren veriler biriktirilir (1, s. 9-10).	Veriler Ecospold formatında depolanır. Format içerisinde meta-veriler ve akış verileri bulunur. Temel alınan SETAC çalışmasına göre isimlendirmeler yapılır ve SI birimleri kullanılır (1, s. 22-23, 49).
GaBi (Almanya)	Uygun veri toplama kağıtlarının oluşturulması ve verinin kontrolü ile veri toplanır. Orijinal ve BS EN 15804 ile uyumlu veri setleri bulunur (2, s. 93-94, 121).	Veriler uygun isimlendirme yöntemiyle, uygun detay derecesinde, diğer formatlar (ILCD, Ecospold ve EPD) ile uyumlu ve metrik SI birimlerinin kullanıldığı bir sistem ile biriktirilmektedir (2, s. 73, 153).
ELCD (Avrupa Komisyonu)	Akış diyagramlarına uygun veri toplama formlarıyla veri toplanması önerilmektedir. Ortalama ve jenerik verilerin de uygun temsiliyette olması beklenmektedir. İkincil verilerin gerekli bilgiler ile istenen kaliteyi sağlaması tercih edilir (3, s. 53-54).	SI birimleri ile veri toplanması yapılır (3, s. 53). Open LCA format dönüştürücüsü ile kullanılan format EcoSpold formatına dönüştürülebilir (12).
Plastics Europe Eco-profiles	YDE uygulayıcısı uygun formları oluşturarak, firmalarla anket yapar (5, s. 14). Ortalama endüstri verileri üreticiye göre ağırlıklandırılarak veriler oluşturulur (7, s. 578).	Uygun terimlerle ve genellikle ILCD formatında ve terimlendirmesine göre, SI birimleri kullanılarak ve CAS sayıları ile kaydedilir (4, s. 30; 5, s. 14).
athena database (Kuzey Amerika)	Veriler en fazla 10 seneliktir (13, s. 15).	Bilgi bulunamadı.
US LCI database (Birleşik Devletler)	Birim süreçler için ortalama veriler, tüm teknolojilere ait verilerin toplanması ve ağırlıklı ortalamalarının alınması ile hesaplanır (6, s. 6). Önemli hammadde ve atık akışlarına dair veriler de toplanmalıdır (6, s. 7). Veriler mümkün olduğunca kümelendirme yapılmadan kaydedilir (6, s. 10).	Open LCA veri biriktirme formatı kullanılır. sınıflandırılması için, EPA EPA Federal LCA Commons elementer akışları kulanılmaktadır (11).
Base Carbone (Fransa)	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.
BEDEC database (İspanya)	Bilgi bulunamadı.	Sonuçların aktarılması için .pdf, .xls, .jpeg gibi formatlar dışında FIEBDC formatı kullanılmaktadır (8, s. 126).
CPM LCA database (İsveç)	Veri kaynakları raporlanmalıdır. Başka çalışmaların verileri gerekirse yeniden modellenerek kullanılabilir (9, s. 22, 32).	14048 ile uyumlu geliştirilmiş SPINE formatı kullanılır (9, s. 1, 6).
ProBas (Almanya)	Genellikle Almanya'ya ait 2000 yılının jenerik verileri kullanılmaktadır (10, s. 6).	Bilgi bulunamadı.

GaBi içerisinde hangi yöntem ile eksik bilgiye dair veri girişi yapıldığı ISO 14044 standardı gereği belgelenmelidir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 94).

Ürüne özgü verilerin kullanılması halinde çıktılar aşamasında oluşan eksik veriler:

- Bilinen tüm yan ürünlerin kayıt edilmesi (mümkün olabildiğince birincil kaynaklardan),
- Bilinen tüm salımların kayıt edilmesi (mümkün olabildiğince birincil kaynaklardan),
- Veri olmaması durumunda benzer süreçler ya da literatürden verinin elde edilmesi,
- Verinin yeterli mühendislik bilgisi ile değerlendirilerek kütle-enerji dengeleri, verimlilikler gibi denklemlerden hesaplanması,
- "En kötü durum senaryosu" ile doldurulması,
- Veri toplama süreci içerisinde üretilmiş bu verilerin GaBi yazılımı içerisindeki duyarlılık analizi ile değerlendirilmesi,
- Üretilen veri değerlerinin, sonuçlara az etki etmesi halinde verilerin değerlendirilmeye dahil edilmesi, etkisinin yüksek olması durumunda yeniden veri toplanması

adımları ile üretilmektedir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 41).

ELCD içerisinde eksik bilgi durumunda önce eksik bilginin önemi değerlendirilir, sonra uygun yöntemler ile veri boşluklarının tamamlanması sağlanır. Eksik bilginin önemi, "en kötü durum" ya da "en az tutucu" senaryolar geliştirilerek değerlendirilir. Bu senaryolardaki veriler, benzer süreçlerden korelasyon ya da hesaplama ile elde edilebilir. Eğer inceleme sonucunda eksik bilginin önemli olduğu görülürse, öncelikle YDE çalışmasının devamında, akışın olup olmadığına bakılarak gerekliyse verinin elde edilmesine çalışılır. İkinci seçenek olarak tahminler yapılabilir. Üçüncü seçenek ise veri bilgisini boş bırakmak ancak eksik bilgi olduğunu raporlamaktır. Her yeni modellenen birim süreç ve eksik bilgi tutarlı ve şeffaf bir şekilde raporlanmalıdır. Veri boşlukları tamamlanırken, metodolojik olarak uygun veri ile tamamlanmalıdır. Düşük ilişkili boşluklar, metodolojik olarak yeterince tutarlı veriler ile doldurulabilir. Boşlukların doldurulmasında, sadece çalışmanın kalitesini arttıracak veriler kullanılmalıdır (European Commission, 2010, s. 61).

Plastics Europe eco-profiles içerisinde endüstri ortalaması ile eksik veriler doldurulabilir ve ülkeler arası benzetmeler yapılabilir. Sonuç etkide %5'den fazla katkı olmaması halinde bu tahminler kullanılabilir. Verinin üretilmiş olması durumu belirtilmelidir (PlasticsEurope, 2011, s 19,22; PlasticsEurope, 2019, s. 14).

US LCI içerisinde eksik veriler ya duyarlılık analizi sonucunun uygunluğuna göre kapsam dışı bırakılabilir ya da benzer veriler eksik veri yerine kullanılabilir (Athena Sustainable Materials Institute, 2004, s. 14).

CPM LCA veri tabanı dökümantasyon ölçütlerinin istediği verilerde: orijinal belgelerde kayıp/belirtilmemiş, elde edilmesi (ekonomik sebepler gibi açılardan) gerekli olmayan, ya da elde edilmesinin olanaksız olması (bilginin olmaması vb.) gibi sebeplerle eksiklikler olabilir. Bu durumda kullanıcı açısından verinin elde edilememe sebebi yeniden kullanılabilmesi açısından açıkça belirtilmelidir (Flemstörm ve Palsson, 2003, s. 25, 51).

Veri kalitesi

ecoinvent bu bağlamda incelendiğinde süreç envanter verisinde oluşabilecek belirsizlik sebepleri:

- Girdi çıktıları tanımlayan rakamlar arasındaki farklılıklar (Bu farklılıklar: ölçüm hataları, zamana bağlı farklılıklar veya üretim süreclerinin farklılıkları gibi nedenlerden kaynaklanabilir.),
- Girdi-çıktı akışları arasında gerçek ve kullanılan veri arasındaki farklılıklar. (Bunlar zamana ve coğrafyaya bağlı sebeplerle olabilir.),
- Modelin uygun olmaması,
- Önemli akışların gözardı edilmesi

olarak değerlendirilmektedir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 42).

Sadece ilk tür belirsizlik, birim süreçlerdeki girdiler ve çıktılar seviyesinde nicel olarak ifade edilebilir ve ecoinvent içerisinde sayısal olarak tutarlı bir şekilde gösterilebilir. ecoinvent içerisinde dört farklı belirsizlik dağılımı vardır: lognormal, normal, üçgen ve üniform dağılım, ancak birim süreçlerin çoğunda lognormal dağılım kullanılır (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 42).

ecoinvent içerisinde belirsizlik değerlendirilmesinin yapılamadığı durumlar:

- Envanter tablosunda eksik verinin olması,

- Gerekli girdiler ve çıktılar için uygun olmayan modellemeler,
- İnsan hataları

olarak değerlendirilmektedir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 46).

Belirsizliğe dair hesaplama yapmaya yetecek kadar veri olmaması durumunda veri kalitesi göstergeleri, Pedigree matrisinde hesaplanarak veri kaynaklarının kalitesine dair bir katsayı hesaplanabilir. Temel olarak belirlenmiş belirsizlik faktörleri ecoinvent içerisindeki tabloda verilmektedir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 44). ecoinvent içerisinde değerlendirilen veri kalitesi göstergeleri: güvenilirlik, tamlık, zamana bağlı korelasyon, coğrafi korelasyon, teknolojik korelasyon, örnek boyutu olarak değerlendirilmektedir. ecoinvent kapsamında her bir girdi veya çıktı akışı bu altı gösterge ile değerlendirilir ve her altı gösterge için belirsizlik faktörü belirlenir. Bu belirsizlik faktörlerinden ve temel belirsizlik faktöründen elde edilen bir belirsizlik değeri, verisetinin belirsizliğinin ifadesi için kullanılmaktadır (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 43-46). Monte Carlo simülasyonu ile kümülatif verilerin %95'lik güven aralığı tespit edilir. Ardından elementar akışlara ait %2,5 ve %97,5 değerleri Monte Carlo yöntemi ile hesaplanır. Verinin kalitesinin kontrolü bu değerlerin içinde kalması ile yapılabilmektedir. Ancak Monte Carlo ile üretilen değerler, ölçümlerle elde edilen verilerden (deterministik ortalamalardan) farklıdır dolayısıyla ecoinvent veri tabanında Monte Carlo ile üretilmiş değerler bulunmaz. Verilerden yeniden veri üretimini mümkün kılmak için sadece deterministik ortalama değerler gösterilmektedir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 46).

GaBi, veri kalitesinin değerlendirilmesine dair çeşitli yöntemlerin bulunduğunu, bu yöntemlerin içerisinde matematiksel yöntemlerle veri üretmenin yanısıra, uzman görüşüne dayalı olarak da veri kalitesinin değerlendirilmesinin yapıldığı belirtir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 76-77). GaBi içerisinde veri kalitesinin tespiti için veri kalitesi göstergeleri kullanılmaktadır. GaBi içerisinde kullanılan veri kalitesi göstergeleri: teknik temsiliyet, coğrafi temsiliyet, zamana ilişkin temsiliyet, bütünlük, tutarlılık ve belirsizlik/kesinliktir. Bu altı belirtecin yanısıra kaynak/güvenilirlik de bir veri kalitesi belirteci olarak kullanılmaktadır (Kupfer ve diğ, 2017, s. 78-83). GaBi içerisinde bu göstergelerden faydalanılarak veri setlerinin kalitesi hesaplanabilmektedir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 87)

Doğru bir envanter analizi için belirsizliklerin olabildiğince azaltılması GaBi içerisinde tercih edilen yaklaşımdır. Çalışma içerisinde gerekli olduğu hallerde

belirsizliklerin birleşik etkisi Monte Carlo yöntemi ile değerlendirilebilir. Temel olarak belirsizlik olan her değişken Monte Carlo yöntemi ile değerlendirilmelidir ancak güncel durumda bu değerlendirme tüm GaBi veri setleri için yapılmış değildir. Monte Carlo yöntemi; metodolojik kabulünün azlığı, tüm model değişkenleri için belirsizlik içermesi, uygulama zorluğu ve hesaplama performansı gibi sebeplerle sık uygulanan bir yöntem değildir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 76-90).

ELCD içerisinde veri kalitesinin değerlendirilmesi: teknik kapsam, zamana dair kapsam, coğrafi kapsam, bütünlük, duyarlılık belirsizliği ve metodolojik uygunluk üzerinden değerlendirilir. Bu bilgilerin hepsini kapsayacak sayısal bir değer elde edilmesi ile veri kalitesine dair bilgi verilir (European Commission, 2010, s. 106-112).

Plastics Europe eco-profiles içerisinde duyarlılık analizi uygulanır. Göz önüne alınan veri kalitesi göstergeleri: teknolojik kapsam, zamana ilişkin kapsam, coğrafi kapsam, ilişki ve temsiliyet, tutarlılık, üretilebilirlik, kesinlik ve doğruluk, tamlık, veri kaynakları, güvenilirlik ve belirsizliktir (PlasticsEurope, 2011, s. 19-20; PlasticsEurope, 2019, s. 13).

Athena içerisinde % 15'lik bir belirsizlik (farklılaşma) kabul edilebilir (Athena Sustainable Materials Institute, 2019, s. 15).

US LCI içerisinde birim süreçler için: büyük örnek olması halinde, dağılım fonksiyonunu içerecek ancak bununla sınırlı olmayacak şekilde; örnek boyutunun yetersiz olması durumunda kaynaklar ya da uzman görüşüne dayanan veri kalitesi tahmini yapılır. İkincil veri için ana kaynakta belirsizlik için kullanılabilecek veriler değerlendirilmelidir (Athena Sustainable Materials Institute, 2004, s. 14).

Base Carbone veri tabanında belirsizlik değeri verilir (Martínez-Rocamora ve diğ, 2016, s. 568).

CPM LCA veri tabanı içersinde, veri kalitesine dair bir beyan ile veri kalitesi değerlendirilir. CPM LCA veri tabanının yaklaşımında verinin, çalışma içerisindeki uygunluğunu sağlamak esastır, bu sebeple veri kalitesi, veriye dair yeterince bilginin dokümantasyonu ile ilgili değerlendirilir. CPM LCA veri tabanında istenilen bilgilerin uygun dokümantasyonunu sağlamak SPINE formatında mümkündür. Burada veri kalitesi temel olarak uygunluk, ulaşılabilirlik ve güvenilirlik üzerinden değerlendirilir. (Flemstörm ve Palsson, 2003, s. 6-8).

Probas içerisinde belirsizlik değerlendirilmemektedir (Severith ve Manthey, 2012, s. 6).

Veri onay yöntemleri

ecoinvent veri tabanında verinin onaylanması sürecinde iki iç eleştirmen bulunur. Eleştirmenler ecoinvent'in bir diğer enstitüsünden seçilir. İlk eleştirmen verinin derlenmesi yaptıktan sonra çalışmayı ikinci eleştirmene aktarır, ikinci eleştirmen verinin VKG'ne göre onayını yaptıktan sonra tekrar ilk eleştirmene iletir. İlk eleştirmen veri kalitesine ile ilişkili bilgilere göre ya çalışmayı kabul eder, ya gerekli düzeltmeleri belirtir, ya da çalışmayı daha detaylı bir araştırma için geri gönderir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 54-55). Çalışmadaki bilgileri değiştirip değiştirmemek çalışma sahibinin yükümlülüğündedir. Onay sekmesi, eleştirmenlerin görüşlerini içerir. Bu aşamada incelenen konular:

- Çalışmanın tamlığı,
- Kalite gereklilikleri ile tutarlı olması,
- Envanter verisinin makullüğü,
- Girdi ve çıktıların tamlığı,
- Hesaplamaların matematiksel doğruluğudur (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 55).

GaBi içerisinde, veriler üç farklı dış kurum tarafından farklı açılardan ele alınarak gözden geçirilmiştir. Veri toplanması aşamasında "teknik bilgiler ve belgeleme rutinleri" ile gerekli dokümantasyon yapılmakta, bu dokümantasyonun yapılması makullük değerlendirmeleri ve denge hesaplarını yapılmasını kolaylaştırmaktadır. "Önemli malzeme ve enerji dengeleri" başlığında enerji dengeleri, kütle dengeleri, element dengeleri ve tepkime denklemleri ile kontroller yapılmakta; "salımların kabul edilebilirliği ve hataların önlenmesi" adımında: eksik, çok yüksek değere sahip ya da düşük değere sahip salımların olmaması için gerekli kontrol yapılmaktadır (Kupfer ve diğ, 2017, s. 150-153). GaBi içerisinde veri toplama akışında, verinin onaylanmasına dair adımlar:

- Gelen verilerin tutarlılık ve kalite açısından kontrollerinin yapılması (kütle ve enerji dengeleri, salım ve madde dengeleri, genel süreç özelliklerinde kabul edilebilirliğin kontrolü),
- Geri beslemelerin sağlayıcı ve kontrol edici mekanizmalara bildirilmesi olarak belirtilmiştir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 94).

GaBi veri tabanında veri onayı mekanizması alttaki adımları içerir:

- Tutarlılık ve bütünlük,
- Teknik süreç seviyesi memnuniyeti,
- Metodolojik YDE yaklaşımı,
- Metodolojik YDED yaklaşımı,
- YDE ve YDED seviyelerinde memnuniyet (Kupfer ve diğ, 2017, s. 156).

GaBi içerisinde bir dış onaylayıcı (2013 itibariyle) sürece dahil olmadığından, VKG bağımsız iç denetim mekanizması olarak değerlendirilmiştir. Bunun yanısıra her GaBi veri seti, endüstriye hakim YDD uzmanı ve bütünsel tutarlılığı değerlendiren veri tabanı uzmanı olamak üzere iki eleştirmen tarafından gözden geçirilir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 79). Onay sürecinde veri kalitesine dair bilgilere, kütle ve enerji dengelerine, salım dengelerine, makullüğe ve ilişkili tüm süreç adımlarının çalışmaya dahil edilip edilmediğine bakılır. Bu kapsamda, veri kaynakları, hedef, işlevsel birim ve sistem sınırları bütünsel tutarlılığın sağlanması için değerlendirilen başlıklardır. Eğer anormallikler farkedilirse, veri sağlayıcıları ile bunun çözümü için çalışılır. Bu çalışmada sorunun veri kaynaklı olup olmadığı, metodolojik bir sorun olup olmadığı, özel bir durum ya da genel bir konu olup olmadığı incelenir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 94).

ILCD rehberinde iç ve dış onay mekanizması önerilmektedir. Bu kapsamda iç onayda yapılması önerilenler:

- Uygunluk: Veri toplaması ya da birim sürecin geliştirilmesinde verinin hedef ve kapsam gereklilikleri ile uygunluğu değerlendirilmelidir.
- Veriye dair bir “ara” kalite kontrolü yapılması: Birim süreç seviyesinde uygulanabilecek bu kontrol, eleştirel gözden geçirme aşamasında gözönüne alınacak veri kalitesine dair teknik konuların gözden geçirilmesidir. Bu başlıklar:
  - Bütün ilişkili akışların içerilip içerilmediği,
  - Akış miktarlarının oranlı olup olmadığı,
  - Etki değerlendirmesine uygunluk (benzer çalışmalardan çok farklı olup olmadığı),
  - Metodolojinin tutarlılığı,
  - Farklılıkların kontrolü,

- Ara rapor oluşturulması,
- Sonuçların VKG'leri üzerinden değerlendirilmesidir (European Commission, 2010, s. 59-60).

Bedec veri tabanında çeşitli kurumlar su ve CO_2 için verileri onaylamaktadır, atıklar için de benzer onay süreci geliştirilmektedir (Casademont ve Alfaro, 2014, s. 129).

CPM LCA içerisinde onaylamanın, bir onaylayıcı tarafından yapılmasını ve bu onaylayıcı bilgilerinin kaydedilmesini yeterli görür. Ancak onay süreci: onay yöntemi, bu yöntemin işleyişi ve onay ile ilgili sonuçlara dayanmalıdır. Bu bilgilerin (yöntem, işleyiş, sonuçlar ve onaylayıcı) değerlendirme açısından kaydedilmesi önemlidir (Flemstörm ve Palsson, 2003, s. 26-27).

3.2.2.2 Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi

Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesinde gerekli matematiksel işlemlerin yapılması gerekmektedir.

3.2.2.3 Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi

Sistem sınırları içerisindeki tüm süreçlerin: birbirleriyle; işlevsel birim ile ve/veya referans akış ile doğru bir şekilde oranlaması yapılmalıdır (European Commission, 2010, s. 77).

3.2.2.4 Verinin kümelendirilmesi

ecoinvent veri tabanında, birim süreçler için ham verilerin kümelendirilmeden veri setlerinin oluşturulması tercih edilir. Veri tabanındaki veriler (APME veri tabanı dışında), mümkün olduğu kadar yatay ya da dikey kümelendirme yapılmadan birim süreç seviyesindedir. Kümelendirme sadece tekil verinin olmadığı ya da tekil verinin gizli olduğu koşullarda yapılmaktadır (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 9-10).

GaBi içerisinde birim süreç verisi, kümelendirilmiş ve kısmen kümelendirilmiş veriler ve bu verileri içeren (tam ya da kısmi) yaşam döngüleri bulunur. Tüm veri setleri ve sistemler, ham veri ve süreç zinciri verisiyle oluşturulur. GaBi veri tabanlarında, kümelenmiş süreçler için teknik süreç, şeffaf bir şekilde belgelenmiştir (Kupfer ve diğ, 2017, s. 72-73). GaBi veri tabanında, BS EN 15804 ile uyumlu geliştirilmiş veri setlerinin oluşturulması için: A1 (hammadde çıkartılması ve işlenmesi, ikincil malzeme girdilerinin işlemleri, örn: geri-dönüşüm), A2 (nakliye) ve A3 (üretim) modülleri için veriler kümelenmiş olarak bulunmaktadır (Kupfer ve diğ, 2017, s. 123).

ELCD içerisinde verinin kümelendirilmesi, gizliliğin sağlanması nedeniyle yapılabilir (European Comission, 2010, s. 59).

US LCI veri tabanında ise birim süreç ya da ürün sistemlerine dair sonuçlar bulunur. Birim süreçlere dair sonuçların bulunması, verinin şeffaflığı açısından daha olumludur. Ancak veriye dair gizliliğin istendiği durumlarda, ürün sistemi halinde gerekirse kümelendirilmiş verinin bulunması kabul edilir. Bazı veri sağlayıcılar, verileri hem birim süreçler hem de ürün sistemi olarak sağlarlar. Bu şekilde veri biriktirilmesi, parçalı verilerin istenildiği hallerde farklı senaryolarda kullanılmasına izin verir. Verinin kümelendirilmesi halinde kümelendirme türü ve sebebini de içerecek şekilde gerekli dökümantasyonun yapılması önemlidir (URL-19).

Bu bağlamda bir veri setinde envanter sonuçlarının kümülatif ifade edildiği YDE çalışmaları uygun bulunmamaktadır (de Eicker ve diğ, 2010, s. 192). US LCI içerisinde bu kümelendirilmiş verilerin varlığı, bu veri tabanının diğer veri tabanları ile birleştirilmesinde/beraber kullanılabilmesinde sorun teşkil eden başlıklardandır (Suh ve diğ, 2016, s. 1292-1293).

3.2.2.5 Sistem sınırlarının inceltilmesi

ecoinvent içerisinde YDE verisi, daha önceden üretilmiş YDE verileri gözönüne alınarak değerlendirilebilir. İkinci tur veri toplaması aşamasında gerekirse tanımlanmış girdi ve çıktıların yeniden değerlendirilmesi ve sistem sınırlarının inceltilmesi yapılır (Frischknecht ve diğ, 2007 s. 10). Alt kategoriler içerisinde ise etki değerlendirme kategorilerine etki edecek değişkenlerin seçimi için daha detaylı inceltme yapılmalıdır. Bu aşamada konuda uzman kişilerin desteği alınmalıdır (Frischknecht ve diğ, 2007 s. 34).

ILCD rehberinde sistem sınırlarının inceltilmesi için duyarlılık analizi yapılması önerilir (European Commission, 2010, s 102). Duyarlılık analizi: önemli konuları belirlemek (YDE kayıtlarının duyarlılığı, YDED faktörlerinin duyarlılığı, modelleme tercihleri ve varsayımların duyarlılığı); hassas kayıtların uygunluğunu sağlamak (kaliteli kayıtların yeterli olmadığı durumlarda geriye dönerek hedef ve/veya kapsamın yeniden düzenlenmesi); sonuçları raporlanmak ve gerekirse hedef veya kapsamı gözden geçirmek olarak üç farklı seviyede yapılabilir (European Commission, 2010, s. 96). YDE çalışması boyunca tamlık, duyarlılık analizi, belirsizlik analizleri ve birim

süreç seviyesinde kalite kontrolleri yapılarak, sistem sınırlarının belirlenmesi sağlanması yapılabilir (European Commission, 2010, s. 92).

Veri tabanlarının "veri hesaplanması" adımına dair kuralları Çizelge 3.3'de özetlenmiştir [(1) Frischknecht ve diğ, 2007. (2) Kupfer ve diğ, 2017. (3) European Comission, 2010. (4) PlasticsEurope, 2011. (5) Athena Sustainable Materials Institute, 2019 (6) Athena Sustainable Materials Institute, 2004. (7) Martínez-Rocamora ve diğ, 2016. (8) Casademont ve Alfaro, 2014. (9) Flemstörm ve Palsson, 2003. (10) Severith ve Manthey, 2012. (11) URL-19)].

3.2.3 Verinin dağıtımı

ecoinvent içerisinde hem dağıtım yapılmadan çok-çıktılı süreçlere dair verilerin kaydedildiği, hem de dağıtım sonrası tekil ürün/yan ürün süreçlerine dair verilerin olduğu bir sistem oluşturmuştur. Dağıtım faktörleri (gerekli durumlarda yenilenebilecek şekilde) ayrıca kaydedilmiştir. Dağıtım yapılmamış çok girdili bir sürecin veri tabanından alınarak kullanımı sırasında, dağıtım yapılmış süreci temsil eden veriler de kullanıcıya sağlanır. ecoinvent içerisinde, ürün ve yan ürünler arasında sağlama yapılarak veri kaybı ya da verinin tekrar dahil edilmesini engellenmektedir. ecoinvent v2'de "çok-çıktılı birim süreç" olarak tanımlanan parçalar "dağıtım faktörleri" ile işlenerek "tek çıktılı süreçler" olarak hesaplanılır ve sistemin genişletilmesi bu şekilde önlenebilir. Ancak öncelikle yapılması önerilen, süreçlerin mümkün olduğu kadar bölünerek dağıtıma gerek kalmamasıdır. Dağıtım faktörlerinin hesaplanmasında da, verilen değerlerin 0 ile 100 arasında olması gerekli değildir, dağıtım faktörleri 0-100 aralığı dışında değerler de alabilir. Ancak ISO 14040 serilerinde de ifade edildiği üzere, tekil bir girdi ya da çıktıya ait dağıtım değerlerinin toplamının %100'e ulaşması gerekir ve literatürde "%100 kuralı" olarak adlandırılan bu kural, sistemin kendi içerisinde doğrulamasının yapılmasını sağlar. Kütleye bağlı dağıtım yöntemleri ecoinvent'te kullanılan temel dağıtım yöntemlerindendir (Frischknecht ve diğ, 2007, s. 35-38). Bunun yanısıra ecoinvent v3'de için farklı yöntemler de eklenmiştir. Ekonomik verilere dayanan kazanç dağıtımı, kuru kütle dağıtımı, karbon dağıtımı ve gerçek değer dağıtım yöntemleri mevcuttur. Ancak bu yeni yöntemlerin çoğunun ileriye dönük, sonuca bağlı YDD çalışmaları için uygun olduğu görülmektedir (Weidema ve diğ, 2012, s. 128-133).

Çizelge 3.3 : Veri tabanlarının "veri hesaplanması" adımına dair kuralları.

	Verinin Onaylanması			Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi	Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi	Verinin kümelendirilmesi	Sistem sınırlarının inceltilmesi
	Eksik verinin derlenmesi	**Veri kalitesi**	**Verinin Onaylanması**				
ecoinvent (İsviçre)	Eksik veriler, stokiyometri kullanılarak, verinin %95'ine ulaşıldığı kabulüne uygun olacak şekilde hesaplanmaya çalışılır. Eğer akışa ya da malzeme salımına dair veri yoksa eğitimli bir kişinin "makullük değerlendirmeleri"ne uygun üretilen tahmin çalışmayı etkilemiyorsa kullanılabilir. Tersi durumda detaylı çalışma yapılmalıdır (1 s10).	Veri kalitesi göstergeleri Pedigree matrisinde değerlendirilir. Monte Carlo simülasyonu ile bulunan verinin, güven aralığında kalmasıyla veri kalitesi kontrolü sağlanır (1 s42-46).	İki eleştirmen ile veri derlenmesi, VKG ile ilişkili değerlendirme yapılır. Öneriler veri sahibine iletilir (1, s 54-55).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Mümkün olduğu kadar yatay ve dikey kümelendirme yapılmadan verinin kaydedilmesi tercih edilir (1, s 9-10).	Önceden yapılmış benzer çalışmalar ile gerekli verilere dair varsayımlar yapılabilir. Bunun ardından ikinci tur veri toplamada gerekirse sistem sınırları inceltilebilir (1 s 10).
GaBi (Almanya)	Literatür araştırmaları, stokiyometrik dengelerle hesaplama, benzer süreçlerin değerlendirilmesi veya bu yöntemlerin uzman görüşü ile değerlendirilmesi kullanılır. Hassasiyet analizi ile verinin etkisi yüksek bulunursa veri toplanması gereklidir (2 s41, 94).	Veri kalitesi göstergeleri ile değerlendirilir. Belirsizliklerin çözümünde ise Monte Carlo yöntemi kullanılabilir (2 s76-90).	İç ve dış onay mekanizmaları vardır. VKG'ler bağımsız bir iç denetim olarak değerlendirilir. Ayrıca iki hakem ile çalışma değerlendirilir ve veri sahibi ile sorunların çözümüne çalışılır (2, s 12-13, 79, 94, 150-156).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Kümelendirilmiş ve kısmen kümelendirilmiş veri setleri de bulunur. Ancak bu durumda teknik sürecin belgelendirilmesi önemlidir (2, s 17, 72-73).	Bilgi bulunamadı.
ELCD (Avrupa Komisyonu)	Eksik verinin önemi tespit edilir, ardından ortalama ya da jenerik verilerle, diğer veri tabanlarından, benzetme yöntemi veya uzman görüşüne dayalı yöntemler kullanılır. Verinin elde edilememesi raporlanmalıdır. Veri kalitesi sağlanamazsa veri boşluğu kalitesi yetersiz veri ile doldurulmaz (3 s61).	Veri kalitesi göstergeleri ile değerlendirilir (3 s106-112).	İç ve dış onay mekanizmaları önerilir (3, s 37, 59-60).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Gizlilik için yapılabilir (3 s59).	Duyarlılık analizi yapılarak gerekirse sistem sınırlarının inceltilmesi önerilmektedir (3, s 92, 112).

Çizelge 3.3 (devam): Veri tabanlarının "veri hesaplaması" adımına dair kuralları.

	Verinin Onaylanması			Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi	Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi	Verinin kümelendirilmesi	Sistem sınırlarının inceltilmesi
	Eksik verinin derlenmesi	**Veri kalitesi**	**Verinin Onaylanması**				
Plastics Europe Eco- profiles	Endüstri ortalaması ile eksik veriler doldurulabilir ve ülkeler arası benzetmeler yapılabilir. Verinin üretilmiş olduğu belirtilmelidir (4 s22; 5 s15).	Tahminler, varsayımlar gibi bilgilerin uygunluğunu değerlendirmek için hassasiyet analizi uygulanır. Veri kalitesi göstergeleri ile veri kalitesi değerlendirilir (4 s19-20; 5 s12-13).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.
athena database (Kuzey Amerika)	Bilgi bulunamadı.	Athena içerisinde, sistem bütününe bakıldığı için % 15 oranında bir belirsizlik uygun kabul edilmektedir (5 s15).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.
US LCI database (Birleşik Devletler)	Eksik veriler ya hassasiyet analizi analizi sonucunun uygunluğuna göre kapsam dışı bırakılabilir ya da benzer veriler eksik veri yerine kullanılabilir (6, s14).	Birim süreçler için; büyük örnek olması halinde, dağılım fonksiyonunu içerecek ancak bununla sınırlı olmayacak şekilde, ya da örnek boyutunun yetersiz olması durumunda kaynaklar ya da uzman görüşüne dayanan bir tahmin ile yapılmalıdır. İkincil veri için ana kaynakta belirsizlik için kullanılabilecek veriler değerlendirilmelidir (6, s14).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Kümelendirilmemiş ve kümelendirilimiş veriler bulunur. Kümelendirilmiş veriler için uygun belgelemenin yapılması önemlidir (11).	Bilgi bulunamadı.

Çizelge 3.3 (devam): Veri tabanlarının "veri hesaplaması" adımına dair kuralları.

	Verinin Onaylanması			Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi	Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi	Verinin kümelendirilmesi	Sistem sınırlarının inceltilmesi
	Eksik verinin derlenmesi	**Veri kalitesi**	**Verinin Onaylanması**				
Base Carbone (Fransa)	Bilgi bulunamadı.	Belirsizlik değeri verilir (7 s568).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.
BEDEC database (İspanya)	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Etki değerlendirilmesi onaylamaya bağlı yapılır. Çeşitli kurumlar su ve CO2 hesaplarını onaylamaktadır, atıklar için benzer çalışma geliştirilmektedir (8 s129).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.
CPM LCA database (İsveç)	Verinin elde edilememe sebebi (orijinal belgelerde kayıp/belirtilmemiş, elde edilmesi makul olmayan, ya da elde edilmesinin imkansız olması gibi) açıkça belirtilmelidir (9 s25,31).	Uygun bilgiler "kalite boyutları" adı altında ISO 14041 le uyumlu olacak şekilde derlenerek veri kalitesi değerlendirilir (9 s6-8).	Onaylayıcının gözden geçirmesi ve onaylayıcı bilgilerinin kaydedilmesi temelde yeterliyken, yöntem, işleyiş, sonuçlara dair bilgilerin kaydedilmesi tercih edilir (9 s 26-27).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.
ProBas (Almanya)	Bilgi bulunamadı.	Belirsizlik değerlendirilmiyor (10 s6).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.

GaBi içerisinde çok-çıktılı süreçler için ISO 14040 standart serilerindeki ilkeler uygulanır. Önce bölmek ya da sistemi genişletmek gibi yöntemlerle, çok-çıktılı süreçlerin değerlendirilmesi yapılmaya çalışılır. Bunların yeterli olmadığı durumlarda dağıtım kuralları uygulanır. Doğru dağıtım yolunun seçilmesi için bir kural yoktur. Girdi ve çıktılar arasındaki paylaştırma, fiziksel ilişkilere bağlı olarak yapılmalıdır. Uygun olan durumlarda bu fiziksel ilişkiler, çevresel etkilerin bölüştürülmesinde temel alınmalıdır. Fiziksel verilerin yeterli olamadığı durumlarda paylaştırma ekonomik değerler üzerinden yapılır. Duyarlılık analizi yapılarak hangi yöntemin en uygun olduğuna dair karar netleştirilebilir. GaBi içerisinde de %100 kuralı çerçevesinde; paylaştırılmış salımların toplamı, paylaştırılmamış salım miktarına eşit olmalıdır. Dağıtım kurallarının etki değerlendirmesine ciddi etkisi varsa, farklı dağıtım katsayıları ile farklı veri setleri şeklinde oluşturulabilir ve yapılacak duyarlılık analizi sonrasında hangi veri setinin uygun olduğu değerlendirilebilir. GaBi veri tabanına dair çalışmalarda, doğru yapılmış dağıtımların ürünlerin çevresel etkileri paylaştırmakta uygun bir yöntem olduğu görülmüştür (Kupfer ve diğ, 2017, s. 98-99).

ELCD içerisinde dağıtım, alt bölümlere ayrımlar yapılarak mümkün olduğunca engellenir. Eğer sistem daha küçük parçalarak ayırılarak dağıtım engellenemiyorsa, o zaman yan ürünlere çevresel etkilerin dağıtılması gerçekleştirilir. Gerekli hallerde dağıtım, fiziksel kurallar ya da ekonomik değerler üzerinden yapılır (European Commission, 2010, s. 78-81).

Plastics Europe eco-profiles içerisinde ise kütle veya enerji ile dağıtım, stokiyometrik dağıtım ve ekonomik değerlere göre dağıtım kullanılan yöntemlerdir (PlasticsEurope, 2011, s. 28-29; PlasticsEurope, 2019, s. 20).

US LCI veri tabanı içerisinde dağıtımdan olabildiğince kaçınılarak, gerek olması halinde kullanıcının uygun bulduğu yönteme göre kendisinin uygulaması amaçlanır (Athena Sustainable Materials Institute, 2004, s. 15-16; Athena Sustainable Materials Institute, 2003 s. 28).

CPM LCA veri tabanı içerisinde dağıtımın doğru bir şekilde raporlanması gerektiği vurgulanmaktadır. Dağıtılan yan ürünlerin yanısıra, dağıtım yöntemi de açıklanmalıdır. CPM LCA veri tabanı içerisinde fiziksel akışlara (kütle ve enerjiye) bağlı dağıtım yapıldığı görülür (Flemstörm ve Palsson, 2003 s. 25).

Veri tabanlarının "veri dağıtımı" adımına dair kuralları, Çizelge 3.4'de özetlemiştir [(1) Frischknecht ve diğ, 2007. (2) Kupfer ve diğ, 2017. (3) European Comission, 2010. (4) PlasticsEurope, 2011. (5) PlasticsEurope, 2019. (6) Athena Sustainable Materials Institute, 2019 (7) Athena Sustainable Materials Institute, 2004. (8) Flemstörm ve Palsson, 2003.].

Çizelge 3.4 : Veri tabanlarının "veri dağıtımı" adımına dair kuralları.

	Verinin dağıtılması
ecoinvent (İsviçre)	Dağıtımda kullanılabilecek yöntemler: belirsiz, fiziksel ilişki, ekonomik ilişki, diğer yöntemler olabilir. %100 kuralı ile dağıtımın sağlaması yapılır. Dağıtım öncesi ve sonrasının verileri kaydedilmelidir (1, s. 35-38).
GaBi (Almanya)	Öncelikle fiziksel ilişkiler, yetersiz kalırsa ekonomik değer üzerinden yapılır ve %100 kuralı uygulanır. Duyarlılık analizi ile yöntem ya da veri setinin uygunluğu belirlenebilir (2, s. 98-99).
ELCD (Avrupa Komisyonu)	Dağıtımdan mümkün olduğunca kaçınılır. Gerekli hallerde öncelikle fiziksel ilişkiler, ardından ekonomik değer üzerinden dağıtım kuralları uygulanır (3, s. 78-85).
Plastics Europe Eco-profiles	Öncelikle kütle veya enerji ile, ardından stokiyometrik dengelere göre, ardından ekonomik değerlere göre dağıtım yapılır. Hassasiyet analizi ile uygun dağıtım yöntemi bulunabilir. Geri dönüşümden faydalanılması halinde uygun dağıtım kuralı ile sürece dahil edilir (4, s. 28-29; 5, s. 20).
athena database (Kuzey Amerika)	Bilgi bulunamadı.
US LCI database (Birleşik Devletler)	Dağıtımdan olabildiğince kaçınılmalıdır. Ardından öncelikle fiziksel ilişkiler, bunun yapılamaması halinde diğer ilişkiler (ekonomik ilişkiler, vb.) üzerinden yapılmalıdır (6, s. 15-16). Birim süreç seviyesinde kullanıcının kendi uygun gördüğü şekilde dağıtım yapabilmesi mümkündür (7, s. 28).
Base Carbone (Fransa)	Bilgi bulunamadı.
BEDEC database (İspanya)	Bilgi bulunamadı.
CPM LCA database (İsveç)	Dağıtılmış yan ürünler belirtilmeli ve dağıtımın tanımı yapılmalıdır. Dağıtım yapılmamış olması durumu da beilrtilmelidir (8, s. 25).
ProBas (Almanya)	Bilgi bulunamadı.

3.3 Bölüm Sonuçları

Veri tabanlarının incelenmesiyle, bu veri tabanları ile uyumlu envanter analiz yöntemini besleyecek kurallar oluşturulmuştur. Bu kuralların oluşturulması ile, günümüzdeki temel yapı malzemesi YDD veri tabanlarının olası en geniş ortak alanı oluşturularak, geliştirilecek veri tabanı için bu başlıklar önerilmektedir. Veri toplanması için hazırlık adımı için oluşturulan kurallar Çizelge 3.5'de, veri toplanması adımı için oluşturulan kurallar Çizelge 3.6'da, veri hesaplanması adımı için oluşturulan kurallar Çizelge 3.7'de ve veri dağıtımı adımı için oluşturulan kurallar Çizelge 3.8'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 : Veri toplanması için hazırlık adımı için oluşturulan kurallar.

	Veri türü	**İşlevsel birim**	**Sistem sınırları**	**Kesim kuralları**	**Kapsam kararları**	**Elementer akışlar**
Geliştirilecek envanter analizi yöntemi için ve ilişkili veri tabanı için belirlenen kurallar	Birincil veri olarak onaylanmış tesis verisi kullanılmalıdır. İkincil veri olarak uygun diğer kaynaklar kullanılabilir.	İşlevsel birim ve beyan edilmiş birim değerlendirilmelidir.	Beşikten -kapıya	Kesim miktarının %1'in altında kalması ve çevresel etkisi yüksek akışların kesilmemesi gereklidir.	Enerji, su, ulaşım, altyapıya ilişkin bilgilerin kaydedilmesi ve atık bertarafının sistemin parçası olarak değerlendirilmesi uygundur.	Değerlendirilecek etki değerlendirme kategorileri ve birlikte kullanılacak veri tabanlarının etki değerlendirme kategorilerine göre belirlenmiş elementer çıkışlar öncelikli olmalıdır.

Çizelge 3.6 : Veri toplanması adımı için oluşturulan kurallar.

	Verinin toplanması yöntemi	**Veri depolanması**
Geliştirilecek envanter analizi yöntemi için ve ilişkili veri tabanı için belirlenen kurallar	Gerekli ön çalışma ile ürün akışının değerlendirildiği, buna uygun formların oluşturulduğu, gerekli ham verilerin kümelendirme yapılmadan, meta verileriyle beraber kaydedildiği veri toplama yöntemi kullanılmalıdır.	EcoSPold formatı. SI birimleri. CAS sayıları ve gerekli kodlarla veri depolanması.

Bölüm 3.4'de ulaşılan sonuçlara bağlı olarak, bir yapı malzemesi için göz önüne alınan kriterler üzerinden genel YDE analizi modeli akış şeması oluşturulmuştur. Envanter analizi modeline taslak olarak oluşturulan bu şema Ek A'da gösterilmiştir. Envanter

analizi akış şemasında, Bölüm 3.1, 3.2, 3.3'de açıklanan ve Bölüm 3.4'de veri tabanlarındaki uygulamaları incelenen başlıkların, bir envanter analizi akışı içerisindeki yerleri, her bir başlık bir (gerekli hallerde birden çok) satır olmak üzere, yerleştirilmiştir. Bu şemada, incenen başlıkların envanter analizindeki yerleri, birbirleriyle ilişkileri ve içerdikleri alt adımları incelemek mümkündür. Şemada aynı zamanda, Çizelge 3.5, Çizelge 3.6, Çizelge 3.7, ve Çizelge 3.8'de belirlenen işlemler, ilişkili adımlarda gri kutular içerisinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 : Veri hesaplanması adımı için oluşturulan kurallar.

	Verinin Onaylanması			**Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi**	**Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi**	**Verinin kümelendirilmesi**	**Sistem sınırlarının inceltilmesi**
	Eksik verinin derlenmesi	**Veri kalitesi**	**Verinin onaylanması yöntemi**				
Geliştirilecek envanter analizi yöntemi için ve ilişkili veri tabanı için belirlenen kurallar	Öncelikle yerinde ölçüm, ardından stokiyometrik dengeler, uzman görüşleri, benzer süreçler, literatür çalışmaları ve ortalama veriler ile hesaplamalar yapılabilir. Sonuçların uygunluğu hesaplar ve uzmanlar tarafından değerlendirilmelidir.	Birlikte kullanılacak veri tabanlarına dair veri kalitesi göstergeleri oluşturulmalıdır ve Pedigree matrisinde değerlendirilebilir. Gerekli durumlarda Monte Carlo yöntemi kullanılmalıdır.	Veri onaylanması iç ve dış mekanizmalar ile yapılmalıdır. İç onayda VKG ve konularına uzman iki eleştirmenin değerlendirmesi yapılmalıdır. Ardından dış onay mekanizması ile onay tamamlanmalıdır.	Gerekli matematiksel işlemler ile hesaplamalar yapılmalıdır.	Gerekli matematiksel işlemler ile hesaplamalar yapılmalıdır.	Kümelendirme yapılmadan verilerin kaydedilmesi tercih edilmelidir. Kümelendirme yapılmasının zorunlu olduğu durumlarda, gerekli belgelendirme yapılmalıdır.	Duyarlılık analizi yapılarak sistem sınırları inceltilmelidir.

Çizelge 3.8 : Veri dağıtımı adımı için oluşturulan kurallar.

	Verinin dağıtılması
Geliştirilecek envanter analizi yöntemi için ve ilişkili veri tabanı için belirlenen kurallar	Dağıtımdan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Ardından uygun yöntem ile dağıtım yapılmalı ve %100 yöntemi ile sağlama yapılmalıdır. Ayrıca hassasiyet analizi ile yöntemin uygunluğu değerlendirilmedilir. Dağıtıma dair tüm bilgiler belgelenmelidir.

Çizelge 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12'de ise, geliştirilen kuralların diğer veri tabanları ile uyumları gösterilmektedir. Bu şemalarda 3 kodlu bölgeler tamamen uyumlu, 2 kodlu bölgeler uygulamaya göre uyumlu olup olmadığı değişebilecek, 1 kodlu bölgeler ise

geliştirilen kuralların diğer veri tabanı ile uyumlu olmadığı koşulları ve 0 kodlu bölgeler ise bilgiye ulaşılamamış olduğunu göstermektedir.

Şekil 3.9 "veri toplanması için hazırlık" adımında belirlenen kuralların diğer veri tabanları ile uyumunu göstermektedir. Çizelgede görülüğü üzere: veri kaynakları, sistem sınırları ve işlevsel birim ile ilişkili konularda diğer veri tabanları ile neredeyse tamamen uyumlu olduğu görülmektedir. Veri kaynakları konusunda Probas, sistem sınırları konusunda Athena diğer veri tabanlarından ayrılmaktadır. Kesim kuralları ve elementer akışlar konusunda uyumlu olunması diğer veri tabanlarının uygulamaları ile şekillenmektedir. Kapsam kararları konusunda, geliştirilen kuralların ecoinvent ve Plastics-Europe için yetersiz kaldığı görülmektedir.

Çizelge 3.9 : Veri toplanması için hazırlık adımı için oluşturulmuş kuralların incelenen veri tabanları ile uyumu (0: bilgi yok 1: uyum yok, 2: koşullara göre uyumlu, 3: uyumlu).

	Veri türü	**Sistem sınırları**	**İşlevsel birim**	**Kapsam kararları**	**Kesim kuralları**	**Elementer akışlar**
ecoinvent (İsviçre)	3	3	3	1	2	2
GaBi (Almanya)	3	2	3	3	3	2
ELCD (Avrupa Komisyonu)	3	2	3	3	3	2
Plastics Europe Eco-profiles	3	3	3	1	2	2
Athena database (Kuzey Amerika)	0	1	0	3	0	0
US LCI database (Birleşik Devletler)	3	2	3	2	3	2
Base Carbone (Fransa)	0	2	0	0	0	0
BEDEC database (İspanya)	3	3	0	3	0	0
CPM LCA database (İsveç)	3	3	3	3	3	3
ProBas (Almanya)	1	0	0	3	0	0

Çizelge 3.10 ise veri toplanması ile ilişkili oluşturulan kuralların veri tabanları ile uyumunu göstermektedir. Bu adımda veri toplanması yönteminde hemen hemen bütün veri tabanları ile uyumun yakalandığı veya koşullara bağlı olarak sağlanabileceği görülürken, veri depolanması konusunda özellikle veri tabanlarının kendierine özgü formatları kullanması sebebiyle uyumsuz olduğu durumlar göze çarpmaktadır.

Çizelge 3.11'de veri hesaplanması adımı için oluşturulmuş kuralların diğer veri tabanları ile uyumu incelendiğinde: veri onaylanması adımı ve alt adımlarında (özellikle veri kalitesi konusunda) veri tabanları ile uyumun sağlanmış olduğu görülmüştür. Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi ve verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi aşamasında bilgi edinilememiş olması göze çarpmaktadır. Verinin kümelendirilmesi ve sistem sınırlarının inceltilmesi aşamalarında kuralların bilgi elde edilebilen veri tabanları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.10 : Veri toplanması adımı için oluşturulmuş kuralların incelenen veri tabanları ile uyumu (0: bilgi yok 1: uyum yok, 2: koşullara göre uyumlu, 3: uyumlu).

	Verinin toplanması yöntemi	**Veri depolanması**
ecoinvent (İsviçre)	3	3
GaBi (Almanya)	3	3
ELCD (Avrupa Komisyonu)	3	2
Plastics Europe Eco- profiles	2	3
athena database (Kuzey Amerika)	3	0
US LCI database (Birleşik Devletler)	2	1
Base Carbone (Fransa)	0	0
BEDEC database (İspanya)	0	1
CPM LCA database (İsveç)	2	1
ProBas (Almanya)	2	0

Çizelge 3.12'de veri dağıtımı ile ilgili oluşturulan kuralların veri tabanları ile ilişkisi incelenmiştir. Bu çizelgede görüldüğü gibi, geliştirilecek veri tabanı için oluşturulan kurallar bilgi elde edilebilen veri tabanları ile uyumlu ya da koşullara göre uyumlu olabilecektir.

Çizelge 3.11 : Veri hesaplanması adımı için oluşturulmuş kuralların incelenen veri tabanları ile uyumu (0: bilgi yok 1: uyum yok, 2: koşullara göre uyumlu, 3: uyumlu).

	Verinin Onaylanması			**Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi**	**Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi**	**Verinin kümelendirilmesi**	**Sistem sınırlarının inceltilmesi**
	Eksik verinin derlenmesi	**Veri kalitesi**	**Verinin onaylanması**				
ecoinvent (İsviçre)	3	3	3	0	0	3	3
GaBi (Almanya)	3	3	3	0	0	3	0
ELCD (Avrupa Komisyonu)	3	3	3	0	0	3	3
Plastics Europe Eco-profiles	3	3	0	0	0	0	0
athena database (Kuzey Amerika)	0	2	0	0	0	0	0
US LCI database (Birleşik Devletler)	3	3	0	0	0	3	0
Base Carbone (Fransa)	0	3	0	0	0	0	0
BEDEC database (İspanya)	0	0	3	0	0	0	0
CPM LCA database (İsveç)	3	3	3	0	0	0	0
ProBas (Almanya)	0	3	0	0	0	0	0

.

Çizelge 3.12 : Veri dağıtımı adımı için oluşturulmuş kuralların incelenen veri tabanları ile uyumu (0: bilgi yok 1: uyum yok, 2: koşullara göre uyumlu, 3: uyumlu).

	Verinin dağıtılması
ecoinvent (İsviçre)	2
GaBi (Almanya)	3
ELCD (Avrupa Komisyonu)	3
Plastics Europe Eco- profiles	2
athena database (Kuzey Amerika)	0
US LCI database (Birleşik Devletler)	2
Base Carbone (Fransa)	0
BEDEC database (İspanya)	0
CPM LCA database (İsveç)	3
ProBas (Almanya)	0

4. TÜRKİYE YAPI MALZEMESİ SEKTÖRÜ İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ ENVANTER ANALİZİ MODELİ (TRea)

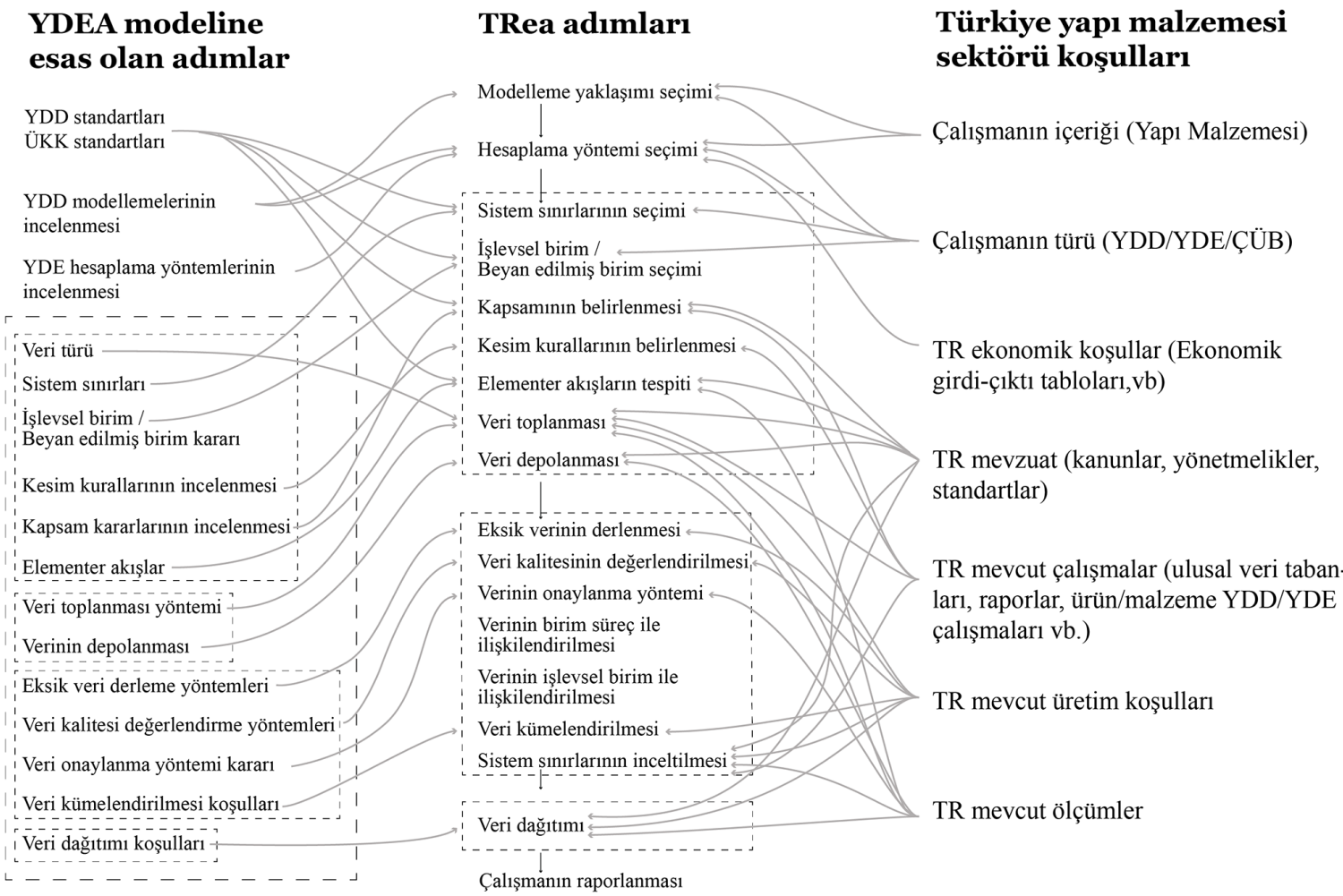
Türkiye'de uygulanacak bir YDD envanter analizi modeli için 2. ve 3. bölümlerde tanımlanan envanter analizi ile ilişkili kararları ve adımları Türkiye koşullarına göre değerlendirmek gerekmektedir. Türkiye yapı malzemesi sektörü yaşam döngüsü değerlendirmesi envanter analizi modelinin oluşturulması için önceki bölümlerde tanımlanan yaşam döngüsü envanter analizine esas olan adımlar, Türkiye yapı malzemesi sektörü için mevcut değişkenler ile ilişkilendirilmiştir. Bu değişkenler olarak öncelikle Türkiye'deki kanun, yönetmelik, standartlar ve Türkiye yapı malzemesi sektörünü güncel koşulları göz önüne alınmıştır. Bu ilişkiler Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Şekil 4.1'de ön çalışmalardan elde edilen başlıklar ve Türkiye yapı malzemesi sektörü ile ilgili mevcut başlıklar sıralanmış ve bu başlıkların birbirleriyle ve envanter analizi akışı ile etkileşimi gösterilmiştir. ("Veri dağıtımı" adımı, ISO 14040 serileri ve uygulamada diğer iki adıma paralel yürütülen bir adım olmasına rağmen, Şekil 4.1'deki gösterimde, listeleme nedeniyle üçüncü adım olarak gözükmektedir. Uygulamada "veri toplanması" ve " veri hesaplanması" adımlarına paralel olarak değerlendirilmiştir.) Bu adımlar ve değişkenlerin birbiriyle ilişkileri Türkiye yapı malzemesi envanter analizi (TRea) modelinin oluşturulmasının temelini oluşturacaktır.

4.1 Türkiye'deki Yapı Malzemesi Sektörü Çevre Yönetim Standartları

Dünyada kullanılmakta olan araçlar incelendiğinde bunların içerisinde uluslararası standartların yanısıra, ulusal standartların da yer aldığı görülmektedir. Türkiye'de oluşturulacak bir envanter analiz modeli ISO 14040 serileri, BS EN 15804 standartlarının yanısıra, Türkiye'de geçerli kanun, yönetmelik ve standartlarla uyumlu olmalıdır.

Türkiye'deki kanun, yönetmelik ve standartlar envanter analizi modelinde çeşitli amaçlarla kullanılmak üzere incelenmiştir. Bu amaçlar:

- Var olan kısıtlamaların tespiti,



Şekil 4.1 : Türkiye yapı malzemesi sektörü envanter analizi modelinin oluşturulması için göz önüne alınan değişkenler. (ISO 14040 serileri; Kupfer ve diğ,2017; Frischknecht ve diğ., 2007; Suh ve diğ, 2016; Frischknecht, 2006; Dixit ve diğ, 2010; Kellenberger, 2007; Lasvaux ve diğ, 2015'den yararlanılmıştır).

- Mevcut sistemlerde yapılmakta olan ölçümlerin tespiti ve bunların envanter analizine aktarılması,
- Güncel durumdaki ilkesel kararların tespiti (geri gönüşüm, atık, vb konularda) ve bunlardan daha kapsamlı bir uygulama yoksa bunların envanter analizine dahil edilmesidir.

Türkiye'deki yapı malzemesi ve çevre yönetimi ile ilgili temel kanun ve yönetmelikler 2872 Çevre Kanunu (1983) ve Yapı Malzemeleri Yönetmeliği'dir (2013). Bu kanun ve yönetmeliğin yanısıra, çevre korunumu ile ilişkili genel kanunlar ve yönetmelikler incelenmiştir. Bu anlamda incelenen yasa ve yönetmelikler:

- Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Yönetimi Yönetmeliği
- Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği
- Çevre Denetimi Yönetmeliği
- Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği
- Hafriyat Toprağı, İnşaat Ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
- Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
- Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, İzni ve Kısıtlanması Hakkında Yönetmeliktir.
- Maden Atıkları Yönetmeliği
- Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
- Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği
- Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik

Mayıs 2012 tarihli "AB Eko-etiketi ve inşaat sektörü" eğitim bilgi notunda Türkiye çevre etiketi ile ilgili yapı malzemesi için yapılan çalışmada, kriterlerin Avrupa Birliği eko-etiket ekolojik kriterleri olduğu ve hammadde seçiminden geri dönüşüme kadar

bütün evreleri kapsadığı belirtilmektedir. Ulusal sistemlerle de bu etiketlerin oluşturulabileceği ancak bu durumda AB eko etiketinin minimum kriterlerinin sağlanmasının beklendiği ifade edilmektedir. Eko-etiket başvurusunda ürünün eko-etiket kriterlerinin belirlenmiş olması gerekmektedir. Bunun ardından ürünün bunu sağladığına dair belgeler, test sonuçları, beyanlar vb. dokümanlardan gerekli bilgiler elde edilmelidir. Eko-etiket alan firmanın üretim sürecinde değişikliğe gitmesi durumunda bunu bildirmesi istenmektedir (AB Eko-Etiketi ve İnşaat Sektörü, Eğitim Bilgi notu, 2012).

Türkiye'de 2012 yılına ait toplam enerji ile bağlantılı CO^2 salımlarının, %39'u enerji, %20'si ulaşım, %19'u üretim ve inşaat ve %22'si diğer sektörler ile ilişkilidir. Türkiye'de elektrik kömür, linyit, gaz, fuel-oil ile çalışan termik santraller, jeotermal enerji ve hidro enerji ile elde edilir (Yousefi-Sahzabi ve diğ, 2017).

Türkiye'de son 20 yılda enerji ihtiyacı iki katına çıkmıştır ve her yıl yaklaşık %4 artması beklenmektedir. Bunun yanısıra Türkiye birincil enerji ihtiyacının yaklaşık %72'sini ithal etmektedir. Bu durum Türkiye'yi, Çin Halk Cumhuriyeti'nin ardından elektrik ve doğalgaz ihtiyacı artışında ikinci sıraya yerleştirmiştir. Hükümetin enerji verimliliği konusunu ilk sıralara yerleştirmesine rağmen kurumsal ve uygulamadaki boşluklar, hedefe ulaşılmasını zorlaştırmaktadır (Yousefi-Sahzabi ve diğ, 2017). Yüksek Planlama Kurulu 2023 yılı için her bir sanayi sektörü için %10 enerji tasarrufu hedefi koymuştur (URL-21). Yousefi-Sahzabi ve diğ (2017) çalışmasında bu hedefin gerçekleştirilmesi için daha fazla çaba gösterilmesi ve ölçülebilir kapsamlı enerji göstergeleri ile hareket edilmesinin gerekli olduğu belirtilmiştir. Ancak Türkiye'nin, Avrupa Birliği'ne üye olma hedefi ile enerji ve çevre ile ilgili mevzuatlarını Avrupa Birliği ile uyumlu hale getirmek için çaba göstermekte olduğu vurgulanmaktadır. Bu bağlamda Türkiye'nin karşılaştığı temel iki sorun: enerji dengelerini kurmak ve çevresel salımları düzenlemektir (Yousefi-Sahzabi ve diğ, 2017).

4.2 YDE Analizi Modelleme Yaklaşımının Belirlenmesi

Yapı malzemesinin güncel koşullarda üretim, yapım, kullanım ve yaşam sonu aşamalarını içeren çevresel bir değerlendirme yapmak için uygun olan yaklaşım niteleyici yaklaşımdır. Literatürdeki örneklerin, yapı malzemesi yaşam döngüsü değerlendirmesi araçlarının ve yapı malzemesi veri tabanlarının incelenmesinde süreçlerin ilk olarak bu şekilde kurgulandığı ve günümüzde çoğunlukla bu yaklaşım

ile değerlendirildiği görülmektedir. Türkiye kapsamında yapılması planlanan çalışmanın da hedef ve kapsam bağlamında bu yaklaşım ile kurgulanması uygundur.

4.3 YDE Analizi Hesaplama Yönteminin Belirlenmesi

Ekonomik girdi-çıktı tabloları ile oluşturulan sistemler hem tekil ürün temsilinden çok ürün gruplarına dair ilişkileri kurmak için kullanılmaktadır, hem de bu verilerin güncelliği ülkesel tabloların oluşturulma hızı ile ilişkilidir. Bu sebeplerle ekonomik girdi-çıktı tablolarının birincil veri olarak kullanılmaması uygundur. Ürünler arası farklılıkların ortaya çıkarılabilmesi için uygun yöntem süreç akışlarını kapsayan yöntemlerdir. Bu sebeple Türkiye için ilk aşamada ürün bazında kıyaslanmaya olanak sağlayan, süreç tabanlı bir model oluşturulmasının öncelikli olduğu düşünülmektedir. Süreç tabanlı yöntemler içerisinde "Ürün sisteminin matris olarak temsili" yönteminin uygulanmasının uygun olduğu düşünülmektedir. Türkiye için süreç tabanlı yöntem oluşturulduktan sonra, ileride eksik verilerin derlenmesinde bir yöntem olarak ekonomik girdi-çıktı tablolarıyla birleştirilerek melez yöntemlerin de kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

4.4 Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Envanter Analizi Modelinin (TRea) Oluşturulması

Temel kararların ardından Türkiye yapı malzemesi envanter analizi modeli (TRea) için veri tabanı ve envanter analizinin uygulanmasına temel olacak ilkesel kararlara dair değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmelerle ilgili akış diyagramı EK B'de yer almaktadır.

Ek B'de yer alan TRea envanter analizi akış diyagramı, çalışma türünün belirlenmesi ile başlar. Burada yapılan çalışmanın etki değerlendirilmesi için bir sonraki adıma aktarılacak YDD çalışması ya da sadece envanter analizi hesaplamaları yapılacak YDE çalışması olması koşulu seçilir. YDD çalışmasının seçilmesi, ÇÜB gibi alt çalışma türlerinin de seçilmesini sağlar. Bu ayrıştırmanın sebebi, farklı çalışmaların farklı etki değerlendirme kategorilerini değerlendirmesi gerekliliğidir.

Bir sonraki adım malzemenin tanımlanmasıdır. Bu adımda malzemeye dair fiziksel, kimyasal, mekanik, teknolojik ve ekolojik bilgilerin sisteme kaydedilmesi ile malzeme tanımlanması yapılmalıdır.

Çalışma türü ve malzenin tanımlanması, envanter analizi çalışmasına başlamadan önce tamamlanması gereken adımlardır.

TRea modelinin oluşturulmasında temel alınan envanter analizi kararları, ISO 14040 serilerindeki adımlarla uyumlu ve Bölüm 3 içerisindeki başlıklar ve alt başlıklar altında değerlendirilmiştir.

4.4.1 TRea modeli veri toplanması kararları

TRea modeli veri toplanmasına dair kararlar, "veri toplanması için hazırlık" ve "veri toplanması" başlıkları altında değerlendirilmiştir.

4.4.1.1 Veri toplanması için hazırlık kararları

Veri toplanması için hazırlık kararlarında incelenen alt başlıklar: veri türü, sistem sınırları, kapsam kararları, kesim kuralları ve elementer akışlardır.

Veri türü

Veri türü olarak birincil ve ikincil veriler için, literatürde kabul görmüş tüm kaynaklar Türkiye envanter analizi modelinde kullanılabilir. Bunun yanı sıra yeni oluşturulan yerel veri tabanlarının en büyük dezavantajı büyük bir emek isteyen veri toplamanın yeterince gerçekleştirilememiş olmasıdır. Bu nedenle TRea modeli ve veri tabanının, uluslararası bir veri tabanı ile karşılıklı-kullanılabilirlik ilkesiyle kurgulanmasının uygun olduğu düşünülmektedir.

Bu karşılıklı-kullanılabilirlik ilkesi kapsamında veri türü ve ilişkili konular değerlendirildiğinde TRea modeli veri türü ve toplanması açısından temel ilke: uygun tüm kaynaklardan elde edilen ve onaylanmış tüm veriler kullanılabilir. Ancak veri tabanları ile uyumun sağlanması ve verinin şeffaflığı açısından birincil/ikincil veri türü olduğu belirtilmelidir. Ayrıca veri kaynağının türü (ölçülmüş, hesaplanmış, tesis verisi, süreç verisi, fatura, salım, basılı yayın, çevresel rapor, YDD/YDE çalışması, salım limiti, istatistik, tarif, formül, patent, stokiyometrik model, süreç/ürün spesifikasyon testi, yasal limit, diğer veri tabanı, literatür, kişisel görüşme, vb) belirtilmelidir.

Türkiye'deki yönetmelikler, kanunlar vb. dolayısıyla takip edilmekte olan ölçümler ve tespiti istenen hammadde, enerji, su ve salım miktarları birincil veri kaynakları olarak; sırasıyla Türkiye verilerine dayanarak yapılmış rapor, istatistik ve benzeri çalışmalar,

stokiyometrik dengeler ve hesaplar ve bunların ardından diğer veri tabanlarının yaptığı çalışmalar ikincil veri kaynakları olarak olarak kullanılmalıdır.

Envanter analizi modeli ile ilişkili olacak veri tabanında, zamanla birikecek verilerden, jenerik (soysal) ve ortalama verilerin de elde edilmesi mümkün olacaktır.

Ortalama verilerin oluşturulmasında gözönüne alıncak teknolojik kapsamın seçimi için:

- Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, ÇED çalışmalarını madde 4 ile *"Gerçekleştirilmesi planlanan projelerin çevreye olabilecek olumlu ya da olumsuz etkilerinin belirlenmesinde, olumsuz yöndeki etkilerin önlenmesi ya da çevreye zarar vermeyecek ölçüde en aza indirilmesi için alınacak önlemlerin, seçilen yer ile teknoloji alternatiflerinin belirlenerek değerlendirilmesinde ve projelerin uygulanmasının izlenmesi ve kontrolünde sürdürülecek çalışmaları,"* olarak tanımlar. Bu kapsamda orman ürünleri, çimento fabrikaları veya klinker üretim tesisleri ve belli bir kapasitenin üzerindeki demir-çelik endüstrisi, demirdışı metal ergitilmesi, cam ve cam elyafı üretim tesisleri ve taş ocakları çevresel etki değerlendirilmesi uygulanacak tesislerdir. Seçme, eleme kriterleri uygulanarak ÇED raporu gerekliliği değerlendirilecek tesisler ise: demir-çelik ya da demirdışı metal tesisleri, klinker öğütme tesisleri, cam elyafı üretim tesisleri, taş ocakları, tuğla veya kiremit üretimi yapan tesisler, seramik veya porselen üretimi yapan tesisler ve kireç fabrikalarıdır (Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği Ek 1, Ek 2, 2014). Üstteki listelerde belirtildiği üzere Türkiye yapı malzemesi sektöründe çalışan birçok üretici ÇED kapsamına girebilir ve çevreye zararı azaltacak önlemler ve teknoloji alternatiflerinin değerlendirilmesi yönetmelikle gelen bir koşul haline dönüşmektedir (Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, 2014).
- Atık Yönetimi Yönetmeliği ve Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği içerisinde daha az kirlilik üreten, doğal kaynakların daha az kullanıldığı teknolojilerin desteklenmesi ifade edilmektedir (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015; Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği, 2005).
- Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinin 1. Maddesinde yönetmeliğin amaclarından bazıları "*sanayi ve enerji üretim tesislerinin*

faaliyeti sonucu atmosfere yayılan sis, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki emisyonları kontrol altına almak; insanı ve çevresini hava alıcı ortamındaki kirlenmelerden doğacak tehlikelerden korumak" ve *"bu etkilerin ortaya çıkmasını engellemeye ilişkin usul ve esasları belirlemek"* olarak ifade edilmiştir (Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2009).

- Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Madde 6 uyarınca *"İşletmenin çevreye zararlı etkilerinin mevcut en iyi üretim ve/veya arıtım teknkleri uygulanarak azaltılmak suretiyle kirlilik oluşturmaması"* gerekmektedir (Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2009).
- Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliğinde Madde 7/D'de *"deşarj limit değerleri belirlenirken uygulanabilir en iyi temiz üretim teknolojileri"* değerlendirilmektedir (Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği, 2005).

Yukarıda listelenen yönetmeliklerin incelenmesinde, çevreye en zararsız, en az kirlilik tüketen teknolojilerin desteklendiği görülmektedir. Yönetmeliklerden çıkan bu sonuç ile envanter analizi sonrasında oluşturulacak veri tabanında ortalama değerlerin üretilmesinde, Türkiye için çevreye en az zararlı teknolojileri kullanan üreticilerin verileri seçilmelidir.

Veri türü, Ek B'deki akış diyagramında adım olarak gözükmemekte ancak Şekil 4.1'de ifade edildiği gibi, veri toplanması süreci ile ilgili temel bir karar olarak çalışma içerisinde yer almaktadır.

Sistem sınırları

Sistem sınırları yapı malzemeleri için çalışmanın hedef ve kapsamına bağlı olarak farklı seçilebilmektedir. Ancak BS EN 15804 içerisinde zorunlu olarak değerlendirilmesi gereken beşikten-kapıya süreci kapsayan adımlar, TRea modeline temel olacak adımlardır. Bu adımlara ek olarak, malzemelerin açık ve kapalı döngüler içerisinde geri-dönüşüm süreçlerinin de değerlendirilmesi planlanmıştır. Bu süreçlerin yanı sıra malzeme özelinde farklılık yaratabilecek olan su kullanımı, atık yönetimi, ulaşım ve alt yapı adımlarının istenildiğinde sisteme dahil edilebileceği bir model

oluşturulmasının çevresel etkileri daha doğru değerlendirmek açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Sistem sınırlarının mümkün olduğu kadar modüler elemanlar olarak bırakılması, elde edilen verilerin bu modüllere özgü olarak biriktirilmesi, gerekli durumlarda malzeme için sistem sınırlarının daraltılabilmesini ve farklı malzemelerin birbirleri ile kıyaslanmasının yapılabilmesine olanak sağlar. Bu bağlamda TRea modelinde, birim süreç modülleri için elde edilen verilerin tekil adımlar altında biriktirilmesinin daha uygun olacağı düşünülmektedir. Girdi ve çıktıların her bir birim süreç içinde derlenip biriktirilebilmesi aynı zamanda üretim hattında iyileştirme/geliştirme gereken alanların tespiti açısından da önemlidir.

Ek B'deki adımlar içerisinde, TRea modelinde, çalışmanın başlangıcında çalışma türü ile uyumlu olarak sistem sınırları seçilir. Bu sınırlar: beşikten-kapıya, kapıdan-kapıya, beşikten-mezara ve beşikten-beşiğe seçilebileceği gibi, model kullanıcının tercihi doğrultusunda şekillendirebileceği sistem sınırlarının oluşturulması sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

İşlevsel birim

TRea modeli içerisinde ilk aşamada malzemenin inşaat ve kullanım etkinlikleri kapsanmayacağı için işlevsel birim yerine BS EN 15804 standardı ile uyumlu olarak beyan edilmiş birimin öncelikli olması uygun görülmektedir. Ancak veri tabanları ile uyum açısından, özellikle ürün sistemleri için beyan edilmiş birimin yanısıra işlevsel birim de kullanılabilecektir. Bu bağlamda, gerekirse referans akışın, farklı veri tabanları ile uyumlu kullanılabilmesi için hedeflenen çıktıya dair akış olarak düşünülmesi uygundur.

EK B'de modelde, sistem sınırlarının seçiminin ardından, çalışma kapsamına göre işlevsel birim ya da beyan edilmiş birim seçilerek çalışmaya devam edilir.

Kapsam Kararları

Bu aşamalar, yine model içerisinde üreticinin bunlara dair özel verileri girebileceği ve bunların malzeme üretimine etkisini değerlendirebileceği adımlar olarak dahil edilecektir.

- Enerji

TRea modelinde, enerji verilerinin yenilenmeyen/yenilenebilir kaynaklardan elde edilmiş olmasının belirtilmesi ve farklı girdiler olarak değerlendirilmesi önemlidir. Aynı şekilde, ısı enerjisi, elektrik enerjisi ve diğer enerji türleri ayrı biriktirilmelidir. Elektrik enerjisinin ulusal/bölgesel şebekeden kullanılması durumu veya tesisin elektrik enerjisi üretiminde elde edilen veriler ayrı biriktirilmeli ve farklı çıktılara sebep olacağı gözönüne alınmalıdır. Tesiste elektrik üretimi koşulunda, çıktılar ile ilişkili çarpanlar, konunun uzmanları tarafından oluşturulmalıdır. Birincil enerji kaynaklarının kullanımı zorunlu olarak model akışında değerlendirilmiştir. Ancak doğrudan üretim hattı ile ilişkili olmayan çeşitli alet ve ekipmanların enerji kullanımlarının dahil edilmesi bu kapsamda kullanıcıya bırakılmıştır.

- Su

Su verilerinin kayıt altına alınması önemlidir ve TRea kapsamına dahil edilmiştir. Ancak bu verilerin detaylı sınıflandırılması da verilerin doğru değerlendirilebilmesini sağlar. Türkiye Çevre Denetimi Yönetmeliğine göre su kullanım miktarı (m^3/gün) olarak ve kullanım kaynağına göre (akarsu, şebeke, kuyu, deniz, göl) belgelenmelidir (Çevre Denetimi Yönetmeliği, 2008). Bu dokümantasyon, su verilerinin TRea veri tabanına eklenmesini kolaylaştıracak ve diğer veri tabanları ile uyumu sağlayacaktır. Dolayısıyla su TRea veri tabanında zorunlu olarak kapsam dahilinde bulunan başlıklardandır.

- Atık Yönetimi

Atıklar konusunda, atık bertaraf sisteminin sistemin parçası olarak değerlendirilmesi ve malzemenin atık olup olmadığının değerlendirilmesi gereklidir. Türkiye'de geçerli yönetmelikler atıklar açısından incelendiğinde:

Atık Yönetimi Yönetmeliği 5. Maddesi uyarınca atıkların mümkün olduğu kadar yeniden kullanım ve geri dönüşümlerinin sağlanması, ikincil hammadde olarak kullanılması, enerji kaynağı olarak kullanılması veya bertaraf edilmesi hedeflenmiştir. Aynı maddede atıkların ikincil hammadde veya yakıt olarak kullanılmasına dair esasların, Bakanlıkça belirlendiği, bunun yanısıra şartlara uyulması halinde, atıkların üretildikleri yerde geri kazanımı sağlanabilir (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015). Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği Madde 5, tehlikesiz atık miktarının azaltılması amacıyla geri kazanımının önemini ve bu uygulamaya dair kuralları

belirler (Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği, 2011). Bu nedenle Türkiye için gerçekleştirilecek envanter analizinde katı atıklar azaltım, bertaraf ve geri dönüşüm anlamlarında değerlendirilmelidir. Bu kapsamda geri kazanılmış ürünlerin teşvik edilmesi ile, geri kazanımın envanter analizi içinde değerlendirilmesi ve kapsama dahil edilmesi gerekmektedir

Atık Yönetimi Yönetmeliği 5. Maddesi aynı zamanda, atıkların, Bakanlıkça belirlenen esaslar dışında toplanması ve ayrılmasını yasaklanmıştır. Aynı şekilde atıkların toprak, deniz, göl, hava vb. alıcı ortamlara ve kanalizasyon sistemlerine uygun olmayan şekilde veya doğrudan aktarılması, düşük sıcaklıklarda yakılması, diğer atıklar ile karıştırılması ve çevrenin kirletilmesi yasaklanmıştır (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015). Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği Madde 5 içerisinde *"Tehlikesiz atıkların geri kazanımı bu Tebliğde belirtilen usul ve esaslara göre yapılır."* ve "*Tehlikesiz atıkların Bakanlığın çevre lisansı verdiği tesisler dışında geri kazanımı yasaktır."* ibareleri ile geri kazanıma dair kurallar belirler (Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği, 2011). Bu yönetmeliklerin yanısıra Toprak Kirliliğinin Kontrolü Ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik Madde 6 *"Her türlü atık ve artığı, toprağa zarar verecek şekilde, Çevre Kanunu ve ilgili mevzuatta belirlenen standartlara ve yöntemlere aykırı olarak doğrudan ve dolaylı biçimde toprağa vermek, depolamak gibi faaliyetlerde bulunmak yasaktır"* ifadesi ile atıkların toprak kirliliği açısından da uygun bertarafının yapılmasını belirtir (Toprak Kirliliğinin Kontrolü Ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, 2010).

Atık Yönetimi Yönetmeliği uyarınca atık üreticisi ve atık sahibi, *"ürettiği atıklara ve atıkların önlenmesi ile azaltılmasına yönelik olarak hazırlamakla yükümlü olduğu atık yönetim planını hazırlayarak il müdürlüğüne sunmakla ve onay almakla" ve "ürettiği atıklar için Bakanlıkça belirlenen esaslar doğrultusunda kayıt tutmak ve uygun ambalajlama ve etiketleme yapmakla"* yükümlüdür (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015)

Hafriyat Toprağı ve İnşaat/Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği Madde 9, üreticilerin, *"atıkların çevre ve insan sağlığına yönelik olumsuz etkilerini, bu yönetmelik hükümlerine uygun olarak en aza düşürecek şekilde atık yönetimini sağlamakla"* ve *"faaliyetler sırasında atıkları bileşenlerine göre ayrı toplamak, geri kazanmak, biriktirmek ve atığın içinde zararlı, tehlikeli ve yabancı madde*

bulundurmamakla" yükümlü kılar. Hafriyat Toprağı ve inşaat/yıkıntı atıklarının geri-kazanım ve bertaraf yöntemleri aynı yönetmeliğin 13. Maddesi ile sınırlandırılmıştır. Aynı yönetmelikte özellikle 13. 14. ve 26. maddeler ile hafriyat sırasında çevre ve insan sağlığı için uyulması gerekenler belirtilmiştir. Bunun yanısıra yönetmelikte inşaat ve yıkım sırasında yapılması gerekenler de belirtilmiştir. (Hafriyat Toprağı ve İnşaat/Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 2004). TRea modelinin ilk basamağı olan malzeme üretim sürecinde, ilgili malzemeler için hafriyat ile ilgili kurallar uygulanmalıdır. Modelin geliştirilmesi ile bina sürecinin bütününü kapsayacak sistem sınırları için, yapı yıkımına dair temel kuralların da yönetmelikte belirtildiği görülmüştür.

Maden Atıkları Yönetmeliği Madde 5 içerisinde "*Maden atıkların toprağa, denizlere, göllere, akarsulara ve benzer alıcı ortamlara dökülmesi, doğrudan dolgu yapılması ve depolanması suretiyle çevrenin kirletilmesi yasaktır."* ibaresi bulunmaktadır. Bu bağlamda aynı yönetmelikte Madde 8 içerisinde belirtilen işletmeci yükümlülükleri içerisinde *"maden atıklarının miktarının azaltılması, işleme tabi tutulması, geri kazanımı, yeniden kullanımı, maden sahası dışında başka bir alanda hammadde olarak kullanılması"* da bulunmaktadır. Aynı yönetmelik Bölüm 3 ve Bölüm 4 içerisinde atık yönetimi ve atık bertarafı detaylandırılmıştır. Bu bağlamda Madde 15'de *"Bakanlık, kendi ürettiği atıklarını üretildiği yerde kendi işleyen tesisleri çevre lisansı uygulamasından muaf tutmaya yetklidir. Çevre lisansından Bakanlıkça muaf tutulan tesislerin atık yönetim planında atık miktarı, türü, atık işleme ve yönetimine ilişkin bilgiler vermesi gerekmektedir."* ibaresi ile atıklara dair yapılacak olumlu işlemlerin kayıt tutulması koşulu ile desteklendiği görülmektedir. Aynı yönetmeliğin 22. Maddesi ise alıcı ortama bertaraf koşullarını düzenlemektedir (Maden Atıkları Yönetmeliği, 2015).

TRea modelinde, yönetmeliklerin uygun gördüğü atık bertaraf yöntemleri ve uygun geri-dönüşüm süreçleri dahil edilmiştir. Tehlikesiz atıklar için, yönetmeliklerde belirtilen atık yönetimi süreçlerine ek olarak, tesisin zorunlu uygulamaların ek olarak gerçekleştirdiği geri dönüşüm işlemlerin seçilmesi (uygun ve gerekliyse farklı süreçlerin eklenmesi) ve hesaplamalara dahil edilmesiyle daha olumlu çevre performansına yönelik süreçlerin öne çıkarılması hedeflenmiştir. Tehlikeli atıklar için uygun geri kazanım yöntemleri TRea modelinde bulunacak ve geri kazanıma uygun

tehlikeli atıkların bu şekilde geri dönüşüme dahil edilmesiyle oluşacak çevresel kazanç malzeme performansına dahil edilecektir.

Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği madde 9 atık azaltımı için üreticileri "*Atık yağ üretimini en az düzeye indirecek şekilde gerekli tedbirleri almakla"* sorumlu tutar. Aynı yönetmeliğin 22. maddesi ile "*I. ve II. kategori atık yağlar ile I. kategori yağların geri kazanım işlemleri sonucunda baz yağ veya petrol ürünü kalitesi tutturulamayan atık yağlar çimento fabrikaları, alçı fabrikaları, kireç fabrikaları, kil kurutma fırınları, demir-çelik yüksek fırınları, enerji santralleri ile atık yakma tesislerinde mevcut yakıta ilave yakıt olarak kullanılabilir.*" ifadesini içerir (Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği, 2008). Bu şekilde atık malzemenin başka süreçlerde girdi olarak kullanımı desteklenmektedir.

Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği madde 5 ile ambalaj atıklarına dair ilkeler içerisinde *"Doğal kaynakların korunması ve depolanacak atık miktarının azaltılması amacıyla ambalaj atıklarının oluşumunun önlenmesi; üretimin kaçınılmaz olduğu durumlarda ise öncelikle tekrar kullanılması, geri dönüştürülmesi ve geri kazanılması esastır."* olarak belirtilmiştir. Yönetmeliğe göre ambalajları oluşturan malzemelerin geri kazanım yüzdelerine dair değerler yönetmelikler ile belirtilmiş ve işletmeler yönetmelikler gereği yapılması gerekeni gerçekleştirememeleri halinde, bir sonraki sene fazlasıyla geri kazanım yapmaları gerekmektedir. Tablo 4.1 Ambalaj atıklarının kontrolü yönetmeliğinde belirtilen, yıllara göre toplam malzeme geri dönüşüm hedefini göstermektedir (Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 2017).

Çizelge 4.1 : Ambalaj atıkları yönetmeliğinde verilen malzemelere göre geri kazanım hedefleri (Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 2017, Madde 19).

	Malzemeye göre yıllık geri kazanım hedefleri (%)			
Yıllar	**Cam**	**Plastik**	**Metal**	**Kağıt/Karton**
2018	56	56	56	56
2019	58	58	58	58
2020	60	60	60	60

İncelenen yönetmelikler bağlamında atık ve geri-dönüşüme dair çeşitli kuralların oluşturulduğu görülmektedir. TRea modeli bu zorunlulukları kapsayacak şekilde uygun yöntemleri ve elementer akışlar seviyesinde ilişkileri içerecek şekilde kurgulanacaktır. Bu işlemlerin yanısıra, tesisin ek olarak yaptığı çalışmaların da modele eklemesine olanak sağlayacak adımlar bulunacaktır.

- Nakliye

Nakliye verilerinin kapsam dahilinde değerlendirilip değerlendirilmeyeceği, öncelikle sistem sınırları dahilinde bu sürecin kapsanıp kapsanmadığı ile ilgilidir. Eğer nakliye verileri kapsam dahilinde değerlendirilmesi gereken ya da kapsama dahil edilen veriler ise TRea modelinde bu verileri ortalama veriler içerisinden çekmek ya da uygun özel verilerin girilmesi mümkündür.

- Altyapı

Alt yapının dahil edilip edilmeyeceği çalışma kapsamında tamamiyle serbest bırakılan bir kapsam kararıdır. Ancak tutarlılığın sağlanması için bu sürecin tüm çalışmalarda dahil edilmesi uygun görülmektedir. Altyapı kapsamında arazi kullanımı/dönüşümü ve/veya makinelerin üretim enerjilerinin de dahil edilmesi en kapsamlı sonucu verecektir. Bu sebeple, TRea modeli akışı bu bilgilerin ekleneceği şekilde kurgulanmıştır. Bu süreci eklemeyecek kullanıcıların bu sürece dair bilgiyi girmeden bir alt adıma geçmesi mümkündür.

Ek B TRea modeli akış diyagramında, kapsam kararlarının genel olarak belirlenmesi sistem sınırlarının seçiminden sonra yapılır. Bu seçimde temel olarak enerji ve su kullanımı konusunda seçim yapılmamalıdır. Enerji ve su kullanımının envanter analizine dahil edilmesi gereklidir. Ancak ulaşım, atık yönetimi ve alt yapıya dair kararların, çalışmanın detaylandırılabilme imkanlarına bağlı olarak kapsama dahil edilip edilmemesi söz konusu olabilir.

Bu tercihlerin yapılmasının ardından, veri toplanması süreci içerisinde, bu verilere dair kararların kapsam dahilinde olması ya da olmaması durumuna göre akışta alt adıma geçiş ya da ilgili adımın detaylandırılması gibi seçenekler sunulmuştur.

Kesim kuralları

Kesim kuralları: elementer akışlar, süreçler ve çevresel etkiler baz alınarak oluşturulabilir. Çalışmaların incelenmesi sonrasında, elementer akışların kesim

kuralları için uygulanan %1'lik kesim ve bu kural ile ilişkili olarak süreçlerde en fazla %5'lik kesimin TRea modelinin kesim kuralı olarak uygulanması uygundur.

Kesim dahilinde olmaması gereken akışlar yönetmeliklerde çevresel etkileri dolayısıyla özellikle değerlendirilmekte olan akışlardır. Bu akışlar aynı zamanda elementer çıkışlarda da karşılaşılan değişkenlerdir. Yönetmeliklerde "tehlikeli atık" olarak değerlendirilen atıklar ve bunlarla ilişkili elementer akışlar hem envanter sonuçlarında değerlendirilmeli, hem de bu bileşikleri içeren maddeler kesim kurallarına tabi tutulmamalıdır. Atık Yönetimi Yönetmeliği Madde 4'de tehlikeli atıklar "*Ek-3/A'da yer alan tehlikeli özelliklerden birini ya da birden fazlasını taşıyan, ek-4'te altı haneli atık kodunun yanında yıldız (*) işareti bulunan atıklar*" olarak tanımlanarak listelenmiştir (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015). Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliğinde envanteri tutulması ve sınır değerlerin altında kalması gereken maddeler sıralanmıştır. Aynı yönetmeliğin 5/I maddesi kapsamında ilgili idareler gerekli koşullarda daha kısıtlayıcı değerler uygulayabilirler (Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği, 2005). Bu yönetmelik kapsamında tehlikeli madde olarak belirtilen maddelere TRea içerisinde kesim kuralları uygulanmamalıdır.

Türkiye yapı malzemesi sektörü için yapılacak envanter analizi çalışmasında kesim kurallarında göz önüne alınan "çevresel etkisi yüksek bileşenlerin oranı az olsa da kapsam dışı bırakılmaması" kuralı çerçevesinde bu akışlara kesim yapılmamalıdır. Bu akışlar aynı zamanda diğer elementer çıkışlar ile beraber Türkiye envanter analizi içerisinde değerlendirilmelidir.

Ek B TRea modeli akış diyagramında kapsam kararlarının seçiminin ardından, kesim kuralları ile ilgili kararların verilmesi gelir. Kesim kurallarının temel olarak, ilgili malzeme ile ilişkili yönetmeliklere uygun olarak şekillendirilmesi esastır. Bunun yanısıra, kesim kurallarının veri seti bazında %1 oranını aşmayacak şekilde uygulanması ve bu kesimlerin toplamda %5'i aşmayacak şekilde sınırlandırılması gereklidir. Kesim kurallarının oluşturulması ve uygulanmasında uzman görüşü dikkate alınmalıdır. Bu adımda, kesim kuralının ne şekilde uygulandığı ve kapsam dışı bırakılması uygun olmayan bileşenler belirtilmelidir.

Elementer akışlar

Türkiye yaşam döngüsü değerlendirmesi envanter analizinden öncelikle Türkiye için öncelikli tespit edilen etki değerlendirme kategorileri ile ilişkili ve yapı malzemesi ÇÜB için gerekli girdi ve çıktıların ölçüm ve hesaplanmasınının yapılması gerekmektedir. Bu ölçümler minimum sınırlar olarak kabul edilerek, çalışmanın kapsamının detaylandırılması halinde gerekli farklı verilerin değerlendirilmesi yapılmalıdır.

Türkiye için öncelikli etki değerlendirme kategorilerinin incelendiği bir çalışmada, etki değerlendirme kategorileri:

- Küresel ısınma
- Ozon tabakasının incelmesi
- Asitleşme
- Ötrofikasyon
- Fotokimyasal sis oluşumu
- İç hava kalitesi
- Fosil yakıtların tüketilmesi
- Mineral kaynakların tüketilmesi
- Su tüketilmesi
- Atık arazi kullanımı

olarak değerlendirilmiştir (Karaman, 2014)

Bunların yanısıra BS EN 15804 standardında yapı malzemesi ÇÜB oluşturulması için gerekli kategoriler:

- Küresel ısınma
- Ozon tabakasının incelmesi
- Toprak ve suyun asitleşmesi
- Ötrofikasyon
- Fotokimyasal ozon oluşumu
- Abiyotik kaynakların (elementlerin) tüketilmesi

- Abiyotik kaynakların (fosil) tüketilmesi

olarak değerlendirilmiştir (BS EN 15804:2012).

TRea modeli için envanter analizinde değerlendirilecek girdi ve çıktılar, bu iki kaynak göz önüne alınarak oluşturulmuştur.

Ek B'de yer alan TRea modelinde, elementer akışlar da, akışta doğrudan yer almayan ancak veri toplanmasında değerlendirilecek bir adımdır. Burada envanter analizi çalışmanın başında çalışma türünün belirtilmesi ve çalışmaya konu olan malzemenin seçimi ile, ilgili elementer akışların sistem içerisinde otomatik olarak çalışmaya dahil edilmesi ve tercihe bağlı olarak malzeme ile ilişkili ek akışların dahil edilmesi gerçekleştirilecektir.

4.4.1.2 Veri toplanması kararları

Veri toplanması kararları: veri toplanması yöntemi ve veri biriktirilmesi alt başlıkları altında incelenmiştir.

Veri toplanması yöntemi

Veri toplama, yapılacak çalışmanın hedef ve kapsamına bağlı olarak ürüne özgü veriler ya da jenerik veriler temel alınarak yapılmalıdır. Yönetmelikler, kapsadıkları alana göre çeşitli bilgilerin belirli bir düzen ve sistematik içerisinde biriktirilmelerine destek olmaktadırlar. Yukarıda bahsedilen yönetmeliklerin incelenmesiyle:

Çevre Denetimi Yönetmeliğine tabi tesislerde doldurulması gereken formlarda gerekli bilgiler:

- Tesiste kullanılan enerji kaynakları (elektrik (kwh/yıl), linyit (ton/yıl), taşkömürü (ton/yıl), kok kömürü (ton/yıl), 4 no'lu fuel-oil (ton/yıl), 6 no'lu fuel-oil (ton/yıl), mazot (ton/yıl), gazyağı (ton/yıl), nafta (ton/yıl), odun (ton/yıl), doğalgaz (m^3/yıl), sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) (ton/yıl))
- Tesisten çıkan sıvı, katı, evsel, tıbbi, tehlikeli, diğer atıklar (ton)
- Su kullanım miktarı (m^3/gün) olarak ve kullanım kaynağına göre (akarsu, şebeke, kuyu, deniz, göl)
- Tesiste oluşan atıksu miktarı (m^3/gün) ve kullanım nedenine göre (proses, soğutma, kazan, evsel, diğer)

olarak tanımlanmıştır (Çevre Denetimi Yönetmeliği, 2008).

Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği madde 5/D ile *"Yönetmeliğin Ek-1 ve Ek-2 sinde verilen tehlikeli maddeler için deşarj limit değerleri ile su kalite kriterlerinin belirlenmesi için envanter çalışmasının yapılması, izleme sisteminin oluşturulması ile deşarjı söz konusu olan tehlikeli maddelerin envanterinin tutulması"* istenmektedir. Bu verilerin nasıl oluşturulacağına ve raporlanacağına ilişkin yöntem de yönetmelikte (Madde 12/b, Madde 14, Madde 15 vb.) belirtilmiştir. Ek 1'de maddeler için ayrıntılı açıklamalar (ölçüm yöntemi, özel hükümler, sektörler, deşarj limitleri, kalite kriterleri ile ilişkili olmak üzere) mevcuttur. Ek 2'de daha az tehlikeli maddeler grup isimleri, izin verilen maksimum deşarj limitleri ve kalite kriterleri ile belirtilmektedir. Atık suyun kontrolü formunda tesisin ana üretimi ve yan ürünlerin cinsinin (ton/yıl) yanı sıra, atık suyun özellikleri: yıllık deşarj (kg/yıl), üretim kapasitesi ile orantılı olarak deşarj miktarı, kaynağı, konsantrasyonu (mg/L veya µg/L), sağlaması gereken limit değerler ve mevcut durum ile karşılaştırılması bilgileri bulunmaktadır. Deşarj edilen alıcı ortam olarak suya ilişkin kontroller içerisinde deşarj edilecek olan tehlikeli maddenin miktarının (ve/veya oranının) ve sonuçlarının yönetmelikte Ek 1 ve Ek 2'de yer alan kriterler ile karşılaştırılması yapılmalıdır (Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği, 2005).

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği madde 4'te emisyon envanteri *"sınırları belirlenmiş herhangi bir bölgede, hava kirletici kaynaklardan belli bir zaman aralığında atmosfere verilen kirleticilerin listesi, miktarı ve bunların toplam kirlilik içindeki paylarını gösteren bilgileri"* içeren doküman olarak tanımlanmıştır. Aynı yönetmeliğin 6. Maddesinde "*tesis etki alanında Ek-2'de verilen hava kalitesi sınır değerlerinin aşılmaması"* ve "*işletmede bulunan mevcut tesislerin baca gazı emisyonlarının bu Yönetmelikte belirtilen usullere uygun olarak işletmeci tarafından ölçtürülmesi, baca dışından emisyon yayan tesisler için hesaplama yöntemi kullanılarak saatlik kütlesel deblerin tespit edilmesi (kg/saat)"* gereklilikleri belirtilmiştir. Aynı yönetmeliğin 14. Maddesi uyarınca, işletmelerin, izin raporları tarihlerini gözönüne alarak, izin verilmiş değerlerden sapma olup olmadığını ve yapılan iyileştirmeleri iki yılda bir raporlamaları gerekmektedir. Bu raporlar ve ölçüm kuralları yönetmelik Ek 11 içerisinde belirtilmiştir. Yönetmeliğin 23. Maddesinde ise hava emisyonu tespiti ve sınırlaması ile ilgili olarak yetkili mercilerin, işletmeciden "*yetkili merci tarafından belirlenmiş uzman bir kurum/kuruluş veya kişiye tesisinden çıkan emisyonu ölçtürmesini ve/veya bu emisyonun hava kirlenmesine katkı değerini hesaplatmasını ve/veya hava*

kirliliği seviyesinin ölçümünü yaptırmasını ister" ifadesi bulunmaktadır. Bu ifade üçüncü kişiler tarafından hazırlanan bağımsız bir rapor ile bilgi oluşturulmasını sağlar. Aynı yönetmeliğin 26. Maddesi, gerek duyulması halinde yetkili mercilerin, işletmelerden sürekli ölçüm istemelerine ve yine gerekli görülmesi halinde bu sürekli ölçümü uzaktan izlenebilmesine olanak sağlar (Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2009).

Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, İzni ve Kısıtlanması Hakkında Yönetmelik kapsamında "*kimyasalların kaydı, değerlendirilmesi, izni ve kısıtlanmasına ilişkin idari ve teknik usul ve esasları*" düzenlenir. Bu yönetmelik kapsamında kayıdı ve tespiti yapılması gereken maddeler, bu belgelemelerin yapılmaması halinde piyasaya arz edilemez (Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, İzni ve Kısıtlanması Hakkında Yönetmelik, 2017).

Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği içerisinde Ek 2 atık yağ beyan formunda: tesiste kullanılan yağların türleri, ticari isimleri ve miktarları (ton/yıl), tesiste atık yağ üreten kaynaklar, atık yağ miktarı (ton/yıl), atık yağ kategorilerini bilgileri de istenmektedir. Bu yağların yakıt olarak kullanılması durumunda ek bilgi ve belgeler de talep edilmektedir. Bu belgeler içerisinde tesiste kullanılan yakıtların türleri, ısıl değerleri, yakıt analizleri (kükürt, azot, kül, nem, vs.), yakıt besleme hızları (kg/saat); yıllık, aylık, günlük ve saatlik olarak tüketim miktarları ve Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği doğrultusunda yapılacak ölçüm ve kontrollerde bakılacak değişkenler envanter analizi veri toplaması açısından önemlidir (Atık Yağ Yönetmeliği, 2008; Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008).

Atık Yönetimi Yönetmeliği Madde 11, atık listesinde yer alan atıkların altı haneli kodlarla tanımlandığını ve atıklarla ilgili yapılacak bütün çalışmalarda bu altı haneli kodların kulanılması gerekliliğini belirtir. Aynı yönetmeliğin 12. Maddesi *"atık sahibinin, atık kodunu ek-1'de yer alan atık kodu belirleme hiyerarşisine ve atık kodu açıklamalarına uygun olarak belirlemekle yükümlü olduğunu"* ifade eder (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015)

Bu yönetmeliklerin yanısıra Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2004), Atık Yönetimi Yönetmeliği (2015), Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği (2011) vb. çerçevesinde gerekli formlar detaylıca doldurulmalı ve tesise/üretime dair bilgiler verilmelidir.

Bu bilgiler genellikle yıllık, günlük vb. zaman dilimlerinde kaydedilen veriler olarak ürün özelinde toplanmamaktadırlar. Bu bağlamda tesislerden elde edilen verilerin uygun katsayı ve oranlarla ilişkilendirilerek ürün özelinde değerlendirebilmesi yönetmeliklerdeki verileri envanter analizinde kullanabilmek için gereklidir. Bazı ölçümler için, farklı bantlarda üretimler, kısmen ölçüm sonuçlarına dayanarak ayrıştırılabilir. Ama tek bantta meydana gelen üretimlerde hesaplama, varsayım vb. nedeniyle oluşan belirsizlikler daha fazla olacaktır.

Bu yönetmelikler kapsamında yukarıda belirtilen verilerin belirli bir sistematik içerisinde toplanıyor olması ve bu verilerin yanısıra tesislere ve veri toplanmasına dair meta verilerin biriktiriliyor olması önemli bir bilgi bankası oluşturmaktadır.

Ek B TRea modeli akış diyagramında veri toplaması süreci birçok alt işlemden oluşur. Öncelikle, süreç akış diyagramının oluşturulması ve akış diyagramında birim süreçlerin belirlenmesi gerekir. Bu birim süreçlerin belirlenmesinin ardından, her bir birim sürece dair girdi ve çıktılar belirlenmelidir. Birim süreçler bazında girdi ve çıktıların oluşturulmasının ardından, çalışmaya esas olacak verilerin toplanması için birim süreç için veri toplama kağıdı oluşturulur. Oluşturulan veri toplama kağıtlarında: hammadde, yenilenmeyen enerji, yenilenebilir enerji, su, salımlar (havaya, suya ve toprağa), atık ve varsa ara ürüne dair veri girişinin yapılması zorunludur. Ulaşım verisinin eklenmesi kapsam kararlarına bağlı olarak şekillendirilebilir. Atık yönetimine dair eğer tesisin yönetmeliklere ek işlemleri varsa bunun eklenmesi mümkündür. Tesis, atık yönetiminde sadece yönetmelikler kapsamındaki gerekleri yerine getiriyorsa bu süreç sistemden otomatik olarak eklenir ve tesis bilgilerinin doldurulması gereklidir.

Veri biriktirilmesi

Diğer veri tabanları ile uyumlu çalışması düşünüldüğü için EcoSpold formatında yapılacak biriktirmelerin TRea modeli için uygun olacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda EcoSpold formatının kurallarının uygulanması gereklidir. Veri biriktirilmesinde meta-verilerin oluşturulması ve isimlendirme açısıdan SETAC, ILCD ve OpenLCA ve BS EN 15804 tarafından göz önüne alınan ölçütler ve başlıkları içeren veri toplama kağıdı oluşturulmalıdır.

İsimlendirme: Yerel kullanıcı açısından isimlendirme ve sınıflandırma gibi konularda TRea veri tabanında kullanılması uygun olacak Türkçe başlıkların belirlenmesi ve

biriktirmenin bu başlıklar altında (diğer veri tabanları ile uyumlu olacak şekilde) yapılması önemlidir. İsimlendirmede aynı zamanda küresel veri tabanları ile uyum açısından İngilizce isimlerin de verilmesi gereklidir. Malzeme isimlendirmede sırasıyla: SETAC, ILCD ve OpenLCA yöntemlerinin uygulanması karşılıklı-kullanılabilirlik açısından en uygun sonucu verecektir. Elementer akışlar: CAS sayıları ve formülleri, IUPAC isimleri, kısaltmalar, teknik yönleri belirtilerek kayıt edilmelidir. İsimlerin gruplamalarda aynı olmasına dikkat edilmelidir. Elementer akış isimlerinden aynı zamanda YDED etki kategorileri ve etki değerlendirme yöntemleri göz önüne alınmalıdır.

Birimler: Çalışma içerisinde sürekli ve sadece SI birimleri kullanılmalıdır. Başka sistemlerden birim çevrimleri yapılması halinde "çevrim faktörü" belirtilmelidir.

4.4.2 TRea modeli veri hesaplanması kararları

Veri hesaplanması kararları: verinin onaylanması, verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi, verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi, verinin kümelendirilmesi ve sistem sınırlarının inceltilmesi alt başlıkları altında incelenmiştir.

4.4.2.1 Verinin onaylanması

Verinin onaylanması alt başlığı: eksik verinin tamamlanması, veri kalitesinin kontrolü ve verinin onaylanması süreçlerinden oluşur.

Eksik verinin tamamlanması

Eksik verinin tamamlanması süreci, incelenen veri tabanlarından çıkan hiyeraşi içerisinde yapılmalıdır. Bu hiyerarşi:

- Yerinde ölçümlerin yapılması
- Stokiyometrik dengeler ile hesaplamalar
- Uzman görüşleri ile tamamlama
- Benzer süreçlerden benzetim
- Literatürden tamamlama
- Jenerik veriler ile tamamlama
- Diğer veri tabanlarından tamamlama

olarak düzenlenmiştir.

Ek B TRea modeli akış diyagramında, veri toplanması sürecinin ardından, kesim kurallarına uygun olmayan eksik verinin (envanter analizine dahil olması gereken akışların eksikliği ya da uygun miktardan fazla kesimin yapılmış olması) sırayla listelenen yöntemlerin kullanılmasıyla tamamlanması gerekmektedir. Eğer verinin bu şekilde tamamlanması mümkün olmuyorsa, kesim kurallarının yeniden değerlendirilmesi gereklidir. Veri tamamlandıktan sonra, diğer veri tabanları ile uygunluğunun değerlendirilebilmesi için raporlanmalıdır.

Veri kalitesinin kontrolü

TRea modelinde, karşılıklı-kullanılabilirlik ilkesinin uygulanması sonucunda veriler için; veri kalitesi göstergeleri kullanılarak Pedigree Matrisinin oluşturulması en uygun çözüm olarak görülmektedir. Bu bağlamda incelenen veri tabanlarının VKG için farklı isimlendirmeler yaptığı görülmüştür. TRea içerisinde bu farklı başlıklarının hepsinin baştan doldurulması, daha sonra gerekli veri tabanı için uygun VKG seçilerek kullanımı önerilmektedir.

Ek B TRea modeli akış diyagramında veri kalitesi ile ilgili işlemler: verinin tamamlanmasının ardından VKG'nin oluşturulması ve Pedigree Matrisinde değerlendirilerek bir veri kalite değeri oluşturulmasına dayanır.

Veri onay yöntemleri

Veri onaylanması, veri toplanması adımında da gerçekleştirilebilecek, verilerin doğruluğunun çeşitli akışlar, denklemler ve/veya uzman görüşü ile onaylanmasıdır. Veri onaylanması olmadan ne hesaplama adımına ilerlenmesi, ne de ham verinin biriktirilmesi uygundur. Türkiye envanter analizi modelinde bu iki adım da veri onayından sonra gerçekleştirilecektir.

Türkiye koşulları göz önüne alındığında, bazı ölçümler hem üretici tarafından yapılır, hem de üst merciler tarafından tekrar ölçümlerle denetlenir. Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği Madde 14/D "*Suda tehlikeli maddelerin envanterinin oluşturulmasında, faaliyet sahibi tarafından belirli periyotlarda yapılan ölçüm sonuçları ile ilgili idare tarafından yapılacak olan ölçüm sonuçlarının uyumlu olması esastır*." ifadesini içerir (Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği, 2005). Benzer maddeler ile ölçümlerin onayı da yapılmaktadır ve envanter analizi için önemli bir unsur olan onay süreci gerçekleştirilmektedir.

Ek B TRea modeli akış diyagramında, verinin onaylanması iç ve dış denetleyiciler tarafından yapılmaktadır. Yönetmeliklerce kısmen karşılanan onay ve denetim süreci ile ilgili olarak iç denetleyici, toplanan verinin uygunluğunu denetler. Dış denetleyicinin ise Türkiye koşullarında üniversiteler olması önerilmektedir.

4.4.2.2 Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi

Bu adımda süreçler bazında gerekli olduğu hallerde, verilerin biriktirilmesi ya da bölünmesi ve birim süreç ile ilişkilendirilmesi matematiksel ilişkiler ile yapılmalıdır.

Ek B içerisinde, ISO 14044 standardındaki akışa göre onay sürecinden sonraki işlem olarak yer almaktadır.

4.4.2.3 Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi

Gerekli olduğu durumlarda verinin matematiksel işlemler ile önceden belirlenmiş işlevsel birim (ya da beyan edilmiş birim) ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir.

Ek B içerisinde, ISO 14044 standardındaki akışa göre onay sürecinden sonraki işlem olarak yer almaktadır.

4.4.2.4 Verinin kümelendirilmesi

Türkiye yapı malzemesi envanter analizi modeli içerisinde verilerin son işleme kadar mümkün olabildiğince kümelenmeden biriktirilmesi hedeflenmektedir. Bunun için son adımlar içerisinde ilişkili akışların bir araya getirilmesi yani kümelendirilmesi yapılmalıdır. Bir sonraki aşama olan etki değerlendirilmesi sürecine ilişkili akışların kümelendirilmiş değerler olarak aktarılması uygundur. Bunun yanısıra etki değerlendirilmesi yapılmadan bir envanter analizi çalışması olarak değerlendirilecek çalışmalarda da, her bir sürecin akışının ayrı değerlendirilmemesi, bunların kapsama uygun olarak bir araya getirilmesi yine kümelendirme ihtiyacını doğurur. Ancak bu kümelendirilmiş verilerin sadece etki değerlendirmesi ya da raporlama aşamasına bilgi aktarması hedeflenmiştir.

Ek B TRea Modeli akış diyagramında son aşamaya kadar verinin kümelendirilmeden getirilip, gerekli olduğu hallerde kümelendirme yapılması uygundur. Kümelendirmenin sonuç rapor ya da bir sonraki adım için yapılan bir işlem olması dolayısıyla, TRea modelinde, elde edilen veri setlerinin mümkünse kümelendirmeden de depolanması sağlanmıştır.

4.4.2.5 Sistem sınırlarının inceltilmesi

Envanter analizi çalışmaları, sürekli başa dönerek çalışma kapsamının uygun koşullara getirildiği çalışmalardır. Bunun sonucu olarak çalışmanın sonunda gerekirse sistem sınırlarının inceltilmesi söz konusudur. Bu kapsamda çalışmanın sonunda sistem sınırlarına, kapsam kararlarına geri dönüşler yapılarak sınırların yeniden düzenlenmesi gerekebilir.

Ek B TRea modeli akış diyagramında, duyarlılık analizi yapılarak sistem sınırlarının değerlendirilmesi ve geri dönüşlerle gerekirse sınırlar ve kapsamın yeniden düzenlenmesi ile tutarlılığın gerçekleştirilebilmesi sağlanmıştır.

4.4.3 TRea modeli veri dağıtım kararları

TRea modeli için, değişmez fiziksel değerlere dayanan ve yapı malzemesinin değerlendirilmesi uygulamasında sıklıkla kullanılan bir yöntem olan kütle oranlarına bağlı olarak dağıtım yönteminin uygulanmasının daha uygun olduğu düşünülmektedir.

Ek B TRea modeli akış diyagramında, dağıtım üç aşamada uygulanır. İlk olarak derlenen temel verilere (hammadde, yenilenebilir/yenilenmeyen enerji, su, salımlar, atıklar ve ara ürün), yan ürün olması halinde dağıtım uygulanmaktadır. Atık Yönetimi Yönetmeliği Madde 19 "*Üretim proses sürecinde ortaya çıkan; ancak asıl amacın bu maddenin üretimi olmadığı, maddeler veya malzemeler ... kullanımında çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek tedbirler alınıyor ise, atık olarak addedilmeyerek, yan ürün olarak kabul edilebilecektir.*" ibaresini içerir (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015). Bunun yanısıra, genellikle ulaşım ve teorik olarak her zaman alt yapı üretilen üründen çok daha fazla ürünü kapsadıkları için, bu değişkenlere dair dağıtım, ürüne dair derlenen verilerden bağımsız olarak alt adımlarda uygulanmaktadır.

4.5 Bölüm Sonucu

Türkiye koşulları göz önüne alınarak, Ek A'da oluşturulmuş taslak ve Bölüm 4.4'de belirtilen kurallar ile uyumlu Türkiye yaşam döngüsü değerlendirmesi envanter analizi (TRea) modeli süreç algoritmasına dair akış Ek B'de verilmektedir.

5. YAŞAM DÖNGÜSÜ ENVANTER ANALİZİ (TRea) MODELİNİN ALÜMİNYUM YAPI MALZEMESİ ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN SINANMASI

Bu bölümde, 4. Bölüm içerisinde oluşturulan TRea envanter analizi modeli akış diyagramı ve bu akış diyagramındaki adımlara dair Bölüm 4.4'de Türkiye için tanımlanmış olan kuralların yapılabilirliğini incelemek üzere modelin bir yapı malzemesi üzerinden sınanması yapılmıştır.

Modelin sınanması için, Türkiye koşullarında (üretim sistemi, mevzuat vb.) yapı malzemesi üretimi yapan bir tesis ile görüşmeler yapılması planlanmıştır. Bu aşamada öncelikli konulardan birisi bilgi paylaşımı ve beraber çalışmaya açık bir tesisin bulunmasıdır. Türkiye'de bazı işletmelerin çeşitli sebeplerle bu çalışmaya çekimser yaklaştığı süreç içerisinde deneyimlenmiştir. Bu süreç sonunda, alüminyum yapısal profiller üreten bir tesis ile bağlantı kurulabilmiş ve model akışı ile ilişkili olarak Ar-Ge yöneticisi ve kalite yönetim sistemleri uzmanı ile görüşülmüştür.

Alüminyum günümüzde yapı sektöründe giderek artan kullanım oranı ile önemli bir yapı malzemesidir. Ancak hammaddenin ve ilişkili yapı malzemelerinin üretiminde, hem Türkiye'de hammadde üretiminin fazla olmaması, hem ikincil Al kullanımının yoğunluğu (dolayısıyla malzeme için geri-dönüşümün çeşitli aşamalarda kullanılmakta olması) ve bu süreçlerin çevresel etkilere olumlu, olumsuz katkılarının incelenebilmesi için alüminyum sektörü uygun bir yapı malzemesi sektörü olarak kabul edilmiştir (Oğuz, Tanaçan 2020).

Çorlu'da üretim yapan tesiste, mimari ve endüstriyel sektörlerde kullanım için alüminyum ekstrüzyon profiller ve mimari ve reklamcılık sektörleri için alüminyum kompozit paneller olmak üzere iki ana ürün grubunda üretim yapılmaktadır. 1000 kişiye yaklaşan çalışanı bünyesinde barındıran tesiste, kalıp üretimi, ekstrüzyon imalatı, elektrostatik toz boya, ahşap kaplama, eloksal, mekanik işlem, kompozit panel imalatı ve son işlemler yapılmaktadır. 65.000 ton/yıl profil üretim kapasitesi, 4 milyon m^2/yıl kompozit panel üretim kapasitesi bulunan tesisin Avrupa, Kuzey Amerika ve Ortadoğu ülkerini kapsayan 50'nin üzerindeki ülkeye ihracatı vardır.

5.1 Alüminyum Yapı Malzemesi Üretim Süreci

Yapısal Al profillerin üretiminde hammadde olarak birincil (yurtdışından temin edilen) ve hurda Al kullanılmaktadır. Birincil Al belli noktalardan, deniz yolu (konteyner) veya tırlar ile getirilmektedir (Şekil 5.1). Hurda Al kullanımında yapısal Al profiller için kullanılan hurda, tesisin daha önceki yapısal Al profil üretiminden kaynaklanan atığıdır (firesidir) (Şekil 5.2). Yaklaşık %20 oranında kullanılan hurda Al oranı, nakliye (ve bu örnekte yurtdışından ithal edildiği için göz ardı edilen Al hammadde üretim sürecinin) çevresel etkilerini azalttığı için önemlidir. Elde edilen Al biyetlerden profil üretimi, ısıtılan biyetin uygun kalıpların içine itilmesi (ekstrüzyon) ile gerçekleştirilir (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4). Hatta çekilen Al profil germe işlemi ile uygun biçime getirilir ve istenilen boylarda kesilir. Germe işlemi hidrolik pistonlar ile yapılır ve oldukça düşük elektrik enerjisi ile gerçekleştirilir. Ardından, profilin hedeflenen mekanik değerlere ulaşabilmesi için fırınlarda ısıl işlem prosesi yapılır. Bu aşamanın ardından yüzey kaplaması/koruması talep edilen yapısal Al profiller yüzey işlemleri için eloksal hattına ya da elektrostatik toz boya hattına aktarılabilir. Bunun ardından paketleme hattına aktarılan Al profiller alıcı isteklerine göre kağıt, palet ve naylon kullanarak paketlenmektedir. Al yapısal profil üretimine dair tesiste uygulanmakta olan üretim akış şeması ve birim süreçlerle ilişkili girdi-çıktılar Şekil 5.5'de görülmektedir (Oğuz, Tanaçan 2020).

5.2 TRea Modelinde Alüminyum Yapısal Profil için Envanter Analizi

TRea modelinde Al yapısal profil için envanter analizi Bölüm 4'de oluşturulan kurallar çerçevesinde, Ar-Ge yöneticisi ve kalite yönetim sistemleri uzmanı ile yapılan görüşmelerle teorik olarak sınanmıştır. Modelin işlerliğinin uygulamada sınanması için gerekli alt yapı, arka plan verileri henüz Türkiye ölçeğinde üretilmemiştir. Aynı zamanda tesisten elde edilen veriler için gerekli hesaplamaların yapılması pratikte farklı uzmanlıkların detaylı çalışmasını gerektiren bir uygulamadır.

5.2.1 Veri toplanması açısından alüminyum yapısal profilin incelenmesi

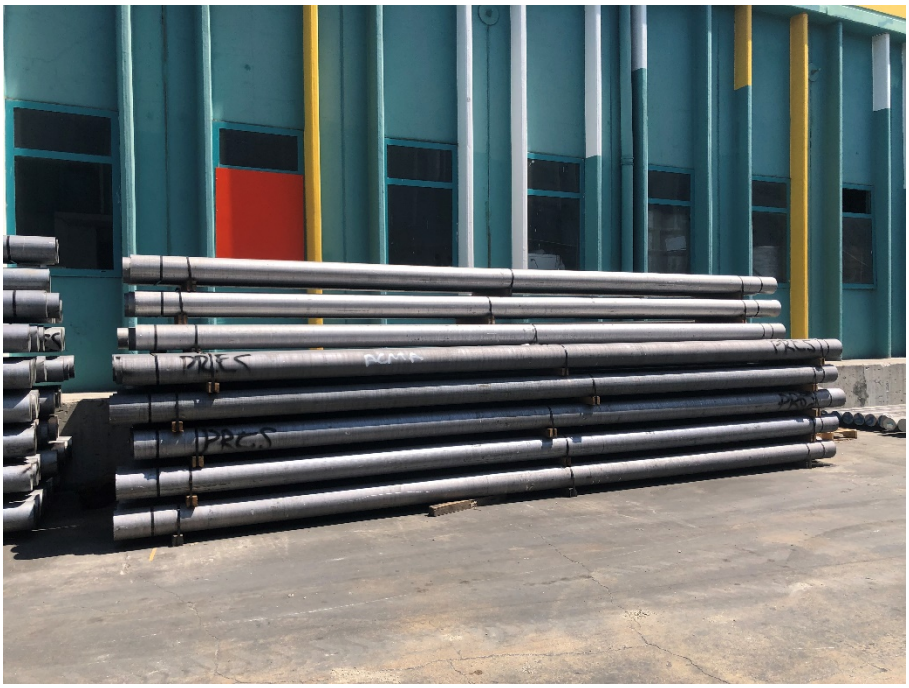
Al yapısal profiller, "veri toplanması için hazırlık" ve "veri toplanması" ölçütleri açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 5.1 : Yurtdışından getirilmiş Al külçeler.



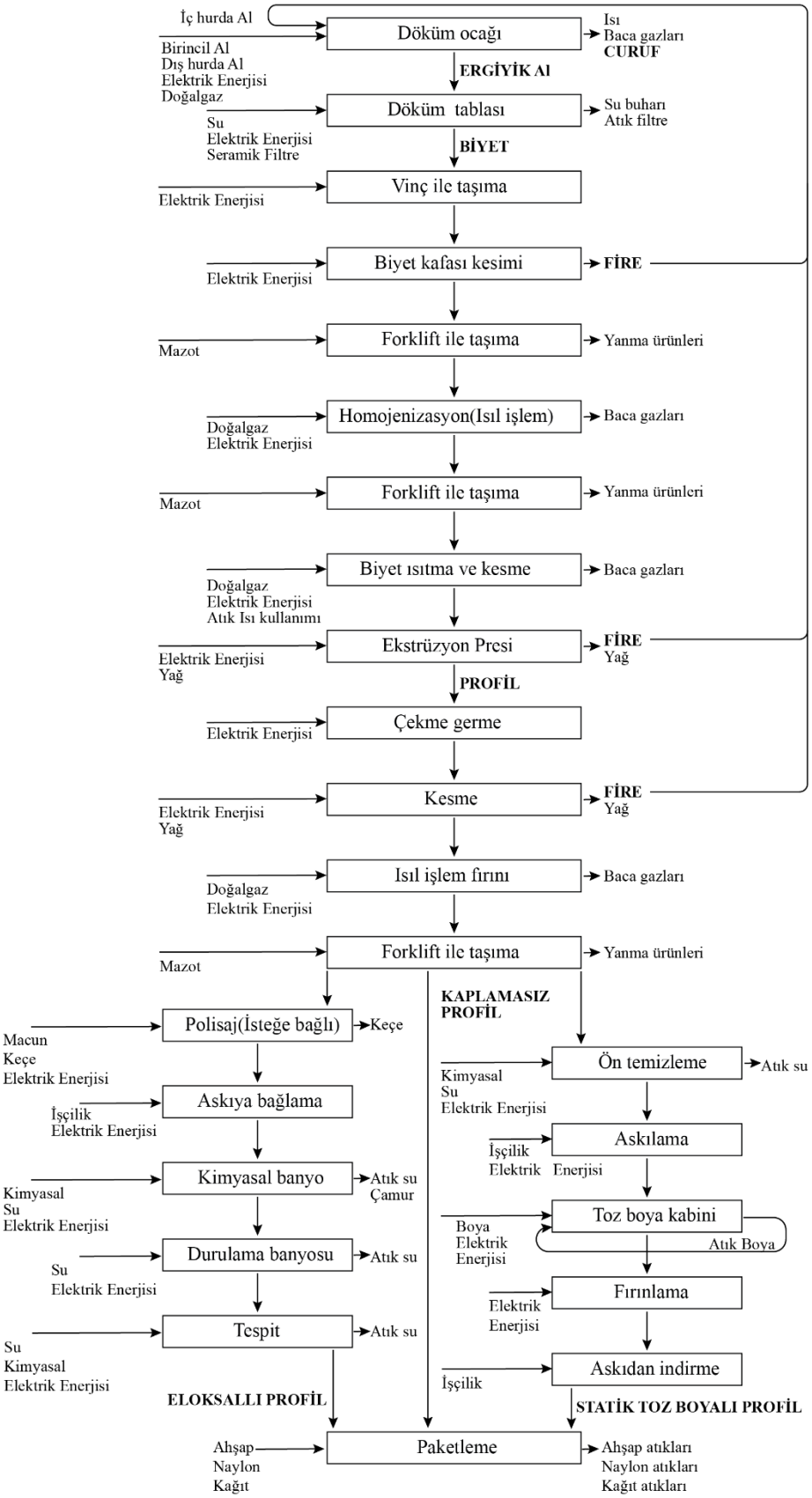
Şekil 5.2 : Ekstrüzyon hattından hurda olarak çıkan, tesis-içi hurda olarak dökümhaneye nakledilecek profiller.



Şekil 5.3 : Döküm işlemi ardından ekstrüzyon hattı için bekleyen Al biyetler.



Şekil 5.4 : Farklı Al profil üretimleri için kalıplar.



Şekil 5.5 : Al yapısal profil üretimine dair tesiste uygulanmakta olan üretim akış şeması (Oğuz, Tanaçan 2020).

5.2.1.1 Veri toplanması için hazırlık açısından alüminyum yapısal profilin incelenmesi

Al yapısal profilin "veri toplanması için hazırlık" açısından incelenmesi: veri türü, sistem sınırları, kapsam kararları, kesim kuralları ve elementer akışlar alt başlıklarında yapılmıştır.

Veri türü

Malzemenin hangi noktadan (kaç km) ve ne kadar yüklenmiş bir araç ile gelmiş olduğu bilgisi elde edilebilir. Bu bilgiler fiziksel ilişkiler ile orantılandırılarak, nakliye sebebiyle oluşan çevresel etki, profil için kullanılan birincil Al ağırlığın toplam ağırlık ile ilişkisinden bulunabilir. Tesiste Al ergitilmesinde kullanılan enerji aylık raporlarla ölçülmektedir. Ölçülen tesis verisi yine fiziksel ilişkiler ile orantılandırılarak, kullanılan Al miktarının ergitilmiş Al miktarına oranlanması ile ergitilmeden kaynaklanan enerji kullanımı elde edilebilir. Bu enerji kullanımının sonuçlarından olan baca gazı verileri de baca gazı ölçümleri ile elde edilebilir. Girdi ve çıktılara dair ölçümler, verilerin sağlamasının yapılması için kullanılabilir. Baca gazı ölçümleri standartlar gereği senede bir kere yapılmaktadır. Bu verilerin daha az hata içermesi için ölçümlerin bir yıllık bir süreç için çeşitli kereler yapılıp, ortalama verilerin kullanılması önerilmektedir. Verilerin çevresel etkilerinin elde edilmesi (örn: elektrik üretiminden oluşan çevresel etkiler vb.) farklı uzmanlıklar gerektirmektedir. Burada uygun uzmanlıkların ya da farklı veri tabanlarının üretmiş olduğu ilişkiler kullanılmalıdır. Biyetin şekillendirilmesi için kullanılan doğalgaz ve kalıbın ocakta ısıtılması için kullanılan elektrik kullanımları sayaçlar ile yapılmaktadır. Hassas bir çalışma için kalıp ısıtılması üretime dağıtılmalıdır. Bu hesaplamada, ısıtılan kalıp ile ne kadar malzeme üretildiği önemlidir. Isıl işlem fırını doğalgaz ile çalışır ve üzerinde sayaçları bulunur. Eloksal hattına ya da elektrostatik toz boya hattına aktarılan ürünler için kullanılan elektrik enerjisi sayaçlardan okunabilir. Tesis içerisinde elektrik enerjisi ve doğalgaz kullanımı ölçümlerinin sağlanabilmesi için her birimin sayaçları bulunmaktadır. Bu süreçte ölçümlerin uygun aralıklarla, yeterli sayıda yapılması ve bundan elde edilen tesis ortalaması değerlerin kullanılması, tek ölçüme dair hataların azalması açısından önemlidir. Bunun yanı sıra tesis ölçümlerinin diğer verilerle sağlamasının yapılması verilerin güvenilirliğinin artmasını sağlar. Kullanılan paketleme malzemesi ve paketlenen ürün miktarından yaklaşık olarak hesaplanabilir.

Sistem sınırları

Sistem sınırları: hammadde genellikle yurtdışından getirildiği için kapıdan-kapıya (sadece külçe Al ve tesis içi hurda kullanılarak yapısal profil üretilmesi) olarak değerlendirilebilmiştir. Sistem sınırlarının hedeflenen kritere (beşikten-kapıya ve geri-dönüşüm) uygun olarak beşikten-kapıya ve geri dönüşüm sınırlarına genişletilmesi için yurtdışından getirilen hammadde için, hammadde eldesi ve ulaşım aşamalarının da dahil edilmesi gereklidir. Bu süreçlerin dahil edilebilmesi için hammadde üreticisi ve nakliye firması tarafından TRea modeli kurallarına uygun olarak derlenmiş gerekli verilerin elde edilmesi gereklidir.

İşlevsel birim

Malzemenin işlevi henüz tam olarak kesinleştirilmemiş olduğu için, işlevsel birim yerine beyan edilmiş birim ile çalışmaların yapılması daha uygundur. Aynı zamanda beşikten-kapıya süreçler için BS EN 15804 standardında beyan edilmiş birimin kullanılmakta olması ve bununla uyumlu veri setlerinin geliştirilmesi göz önüne alındığında beyan edilmiş birim kullanımı daha uygun olmaktadır.

Kesim kuralları

Göz ardı edilen işlemlerin (ergitme alanından Al biyetin vinç ve forkliftlerle profil hattına aktarılması, profil kalıbının ısıtılması, germe işlemi, taşıma için sepete dizilmiş profillerin, vinç ve forkliftlerle yüzey işlemlerine aktarılması), envanter analizi çalışmasına etkisinin %5 oranının altında kaldığı düşünülmektedir. %1 oranının altında kalabilmek ve daha hassas sayısal değerlere ulaşmak için tesis ile beraber detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Kapsam kararları

Enerji, su ve tesis içi nakliyeye dair bilgiler göz önüne alınmaktadır ancak hammaddenin tesise nakli ve alt yapıya dair bilgilerin göz önüne alınması için daha detaylı bir çalışma gerekmektedir. Atık yönetimi bu aşamada hurda Al'nin kullanımı, yönetmelikler gereği yapılan arıtmalar ve atık yönetimi uygulamaları olarak düşünülmektedir.

Elementer akışlar

Veri toplama aşamasının emek yoğun bir süreç olması göz önüne alınarak, elementer akışların ilk olarak Türkiye için göz önüne alınması, uygun görülen etki değerlendirme

kategorileri ve ÇÜB için değerlendirilecek etki değerlendirme kategorileri ile uyumlu olarak seçilmesiyle, veri toplanması aşamasının uygun ve yeterli bilgiye ulaşılabilmesi anlamında optimize edileceği düşünülmektedir.

5.2.1.2 Veri toplanması açısından alüminyum yapısal profilin incelenmesi

Al yapısal profilin "veri toplanması" açısından incelenmesi: veri toplama yöntemi ve veri biriktirilmesi alt başlıklarında yapılmıştır.

Veri toplama yöntemi

Veri toplaması yönteminde öncelikle ürün üretimine dair akışın oluşturulması ve buradaki birim süreçlere dair verilerin tesis ölçümlerinden ve birincil veriler olarak toplanması öncelikli veri toplama yöntemi olmalıdır. Tesis üretim akış şeması oluşturulmuştur ve Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Bu üretim akış şemasında birim süreç ve bu süreçlerle ilişkili girdi ve çıktı akışları görülmektedir. Tesis içerisinde yönetmelikler ve üretim sürecine dair yapılmakta olan veri toplanması işlemleri Çizelge 5.1'de gösterilmiştir. Çizelge 5.1'de birim süreçlerde kullanılan girdiler ve bu süreçlerin sonucu olarak ortaya çıkan çıktıların: hangi yöntem ile tesis içi denetiminin (ölçümünün) yapıldığı, ölçüm sıklıkları ve bir yılda kaç ölçüm yapıldığı, ya da kaç yılda bir ölçüm yapıldığı tablolaştırılmıştır. Bu verilerin bir yıllık ve istatistiki verinin güvenliğini sağlamak için olabildiğince sık yapılması tercih edilmektedir. Tesis içi yöntemlerle toplanan verilerin yeteri kadar sık ölçümlerle hesaplanabilmesinin mümkün olduğu görülmektedir. Birincil verilerin, ham veriler olarak kümelendirilmeden toplanması mümkündür. Verilerin toplanmasında SI birimleri kullanılmaktadır. Bazı veriler, diğer veri tabanları ile uyumlu kodlar ve kısaltmalar ile toplanmaktadır.

Veri biriktirilmesi

Veri biriktirilmesi adımının, Al yapısal profiller üzerinden sınanmasında verilerin SI birimleri olarak elde edildiği görülmüştür. Aynı zamanda yönetmeliklerde çeşitli bileşenlere dair detaylı bilgilerin, evrensel kodlar ve kısaltmalarla biriktirildiği görülmüştür. Bu bilgilere göre düzenlenen bilgilerin hali hazırda doldurulmakta olan formlardan detaylı meta-veri ile beraber çekilebileceği düşünülmektedir. Veri biriktirme formatı olarak EcoSpold formatının kullanılması önerilmiştir.

Çizelge 5.1 : Tesis içerisinde yönetmelikler ve üretim sürecine dair yapılmakta olan veri toplama işlemleri (Oğuz, Tanaçan 2020).

	Değişken	Tesis içi Denetim Yöntemi	Ölçüm Sıklığı	Bir takvim yılındaki ölçüm sayısı
GİRDİLER	**Hammadde kullanımı** (birincil)	Stok kontrolünden okunabiliyor	Günlük	365
	Hammadde kullanımı (hurda)	Stok kontrolünden okunabiliyor	Günlük	365
	Doğalgaz kullanımı	Sayaç olan cihazlardan istenildiğinde okunabilir.	Sürekli takip edilebilir (standart ölçüm aylık)	İstenildiği sıklıkta (standart ölçüm sayısı 12)
	Elektrik kullanımı	Sayaç olan cihazlara sahip birimlerde istenildiğinde okunabilir.	Sürekli takip edilebilir	İstenildiği sıklıkta (standart ölçüm aylık)
	Su kullanımı	Üretime dair ayrı sayaçtan okunur.	Aylık fatura ile	12
	Mazot kullanımı	Stok koşullarına göre alınıyor.	Aylıktan sık aralıklar	12'den fazla
	Sarf malzemesi kullanımı (yağ, keçe, macun)	Stok kontrolü takibi ile bulunabilir.	Aylık	12
	Flaks kullanımı	Stok kontrolü takibi ile bulunabilir.	Aylık	12
	Kimyasal kullanımı	Üretim raporları ile tüketim takip edilebilir.	Aylık	12
	Boya kullanımı	Üretim raporları ile tüketim takip edilebilir.	Günlük	365
	Paketleme malzemesi kullanımı (Naylon film dışında)	Üretim raporları ile tüketim takip edilebilir.	Ürün bazında biliniyor.	İstenildiği sıklıkta (standart ölçüm sayısı 12)
	Paketleme malzemesi kullanımı (Naylon film)	Stok kontrolü takibi ile bulunabilir.	Aylık	12
ÇIKTILAR	**Emisyon ölçümü**	Baca gazı emisyon ölçüm raporu ile belirlenir.	Bakanlık takibi yılda 1	1 (en az)
	Atık su analizi	Atık su analizi raporu ile belirlenir.	Bakanlık takibi ayda 1	12
	Çamur analizi	Üretimdeki atık maddenin belirlenmesi için bir kere. Üretim değişikliğinde yenilenmeli.	Bakanlık takibi için her üretim koşulunda tek ölçüm yeterli	Üretimin değişmemesi halinde 5 yılda bir
	Atık çamur miktarı takibi	Atık çamur takibi raporu ile belirlenir.	Bakanlık takibi gereklilik halinde	88 (2020 yılı ölçüm sayısı)

5.2.2 Veri hesaplanması açısından alüminyum yapısal profilin incelenmesi

Veri hesaplanması açısından Al yapısal profil: “verinin onaylanması”, “verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi”, “verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi”, “verinin kümelendirilmesi” ve “sistem sınırlarının inceltilmesi” başlıklarında değerlendirilmiştir.

5.2.2.1 Verinin onaylanması

Verinin onaylanması alt başlığı: eksik verinin tamamlanması, veri kalitesi ve veri onay yöntemleri açısından değerlendirilmiştir.

Eksik verinin tamamlanması

Eksik verinin tamamlanmasında öncelikle yerinde ölçüm yöntemleri kullanılmalıdır. Bunun uygun olmadığı koşullarda öncelikle genel geçer kurallar olan stokiyometrik denklemler ile sonuç elde edilmeye çalışılmalıdır. Bunun da yeteriz kaldığı durumlarda öncelikle Türkiye’ye dair bilgilerle oluşturulmuş güvenilir raporlar, sonrasında başka veri tabanlarından ya da çalışmalardan benzetme yöntemi uygulanabilir.

Veri kalitesi

Veri kalitesi için veri kalitesi göstergeleri ile veri kalitesinin hesaplanması uygundur. Bu anlamda öncelikle ISO 14040 standart serilerinde belirtilen veri kalitesi göstergeleri oluşturulmalıdır. Bunun yanısıra karşılıklı-kullanımı hedeflenen ve eksik verinin tamamlanması için kullanılması planlanan veri tabanlarına dair VKG’lerin oluşturulup gerekirse uygun matris ile değerlendirilmesi planlanmaktadır. Değerlendirilmiş veri tabanları ve ISO standartlarında belirtilen VKG ve bu göstergelerin tesiste yanıtlanabilirliği Çizelge 5.2’de gösterilmektedir. Çizelge 5.2’de gösterilen VKG, her bir veri tabanındaki isimleri ve bu veri kalitesinde istenen bilginin kısa açıklaması ile verilmiştir. Bu VKG içerisinde aynı içeriğin farklı veri tabanlarında, farklı isimlerle tanımlanmış olduğu görülmüştür. Tesis içerisinde bu VKG ile ilişkili cevapların verilebileceği, dolayısıyla VKG ile ilgili gerekli durumlarda bütün veri tabanları ile uyumlu olmanın mümkün olacağı düşünülmektedir.

Çizelge 5.2 : İncelenmiş veri tabanları ve ISO standartlarında belirtilen VKG ve bu göstergelerin tesiste yanıtlanabilirliği (Kupfer ve diğ 2017; European Comission, 2010; ISO 14041:1998; Plastics Europe, 2011; Frischknecht ve diğ, 2007; Flemström ve Pålsson, 2003).

Veri Kalitesi Göstergesi	**İçerik**	**Standart/ Veri Tabanı**	**Yanıt verilebilirliği**
Belirsizlik/Netlik	Veri kaynaklarına dair bilgi	GaBi, ELCD	Yanıtlanabilir
Coğrafi kapsam	Konum bilgisi	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Coğrafi kapsam	Konum bilgisi	eco profiles	Yanıtlanabilir
Coğrafi korelasyon	Konum bilgisi	ecoinvent	Yanıtlanabilir
Coğrafi temsiliyet	Konum bilgisi	GaBi, ELCD	Yanıtlanabilir
Coğrafi uygunluk	Konum bilgisi	US LCI	Yanıtlanabilir
Güvenilirlik	Kaynak güvenilirliği	ecoinvent	Yanıtlanabilir
Güvenilirlik	Hassasiyet ve tutarlılığı içerir	CPM	Yanıtlanabilir
Güvenilirlik ve belirsizlik	Bilginin belirsizliği	eco profiles	Yanıtlanabilir
Duyarlılık	Veri değişkenliğinin ölçümü	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Duyarlılık ve kesinlik	Verilerin değişkenliği	eco profiles	Yanıtlanabilir
İleri teknik korelasyon	Teknolojik bilgi	ecoinvent	Yanıtlanabilir
İlişkililik	Zaman, konum, teknik bilgiler, tamlık ve temsiliyeti	CPM	Yanıtlanabilir
İlişkililik ve temsiliyet	Doğru grubu temsil ettiğinin bilgisi	eco profiles	Yanıtlanabilir
İstatistiksel verinin varlığı	İstatistiksel veri yüzdesi	US LCI	Yanıtlanabilir
Ölçüm sayısı	Ölçüm sayısı	ecoinvent	Yanıtlanabilir
Onay	Onaylanmış veriler	US LCI	Yanıtlanabilir
Tamlık	Birincil verilerin yüzdesi	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Tamlık	Süreç ve zaman açısından	ecoinvent	Yanıtlanabilir
Tamlık	Akışların tümünün içerilmesi	GaBi, ELCD	Yanıtlanabilir
Tamlık	Ölçülmüş ya da tahmini akışların yüzdesi	eco profiles	Yanıtlanabilir
Tamlık	Kütle dengelerinde eksik veri yüzdesi	US LCI	Yanıtlanabilir
Teknik temsiliyet	Teknolojik bilgi	GaBi, ELCD	Yanıtlanabilir
Teknolojik kapsam	Teknolojik bilgi	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Teknolojik kapsam	Teknolojik bilgi	eco profiles	Yanıtlanabilir
Teknolojik uygunluk	Teknolojik bilgi	US LCI	Yanıtlanabilir
Temsiliyet	Verinin doğru grubu temsili	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Tutarlılık	Metodolojik tutarlılık	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Tutarlılık	Metodolojiye uygunluk	GABİ, ILCD	Yanıtlanabilir
Tutarlılık	Metodolojiye uygunluk	eco profiles	Yanıtlanabilir
Ulaşılabilirlik	Üretilebilirlik ve tutarlılığı içerir	CPM	Yanıtlanabilir
Üretilebilirlik	Verinin yeniden üretilebilmesi	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Üretilebilirlik	Yeniden üretilebilir olması	eco profiles	Yanıtlanabilir
Veri kaynakları	Kaynakların belgelenmesi	eco profiles	Yanıtlanabilir
Veri yaşı	Veri zamanı	US LCI	Yanıtlanabilir
Zamana dair kapsam	Zaman bilgisi	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Zamana dair temsiliyet	Zaman bilgisi	GABİ, ILCD	Yanıtlanabilir
Zamana dair kapsam	Zaman bilgisi	eco profiles	Yanıtlanabilir
Zamana dair korelasyon	Zaman bilgisi	ecoinvent	Yanıtlanabilir

Veri onay yöntemleri

Verinin onaylamasında veri kalitesi göstergelerinden ve iç denetleyicinin raporu ile iç onay mekanizmasının gerçekleştirilmesi mümkündür. Türkiye koşullarında henüz yeteri kadar benzer çalışma olmadığı için ve envanter analizi çalışmaları kapsamı gereği farklı uzmanlıkların bir araya gelmesini gerektiği için, dış onayın üniversite mekanizmaları üzerinden yapılmasının uygun olduğu düşünülmektedir.

5.2.2.2 Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesi

Verinin birim süreç ile ilişkilendirilmesinde günümüz koşullarında cihazlardaki ölçümlerden faydalanılabilmektedir. Bunun yanısıra, cihaza (dolayısıyla birim sürece) ait olmayan verilerin, uygun orantılama yöntemleri ile birim süreç ile ilişkilendirilmesi uygun görülmüştür.

5.2.2.3 Verinin işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi

Verinin matematiksel işlemler ile işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi ve bunun ardından verilerin bir araya getirilmesi uygundur.

5.2.2.4 Verinin kümelendirilmesi

Verinin şeffaflığının ve gerekli veri setlerinde yeniden kullanılabilirliğinin sağlanması için, veri kümelendirilmesinden mümkün olduğunca kaçınılması gerekmektedir. Ancak gizliliğin gerektirdiği veya ayrıştırmanın yapılamadığı durumlar için kümelendirilmiş veriler kullanılabilir. Tesiste yapılan çalışmada, özellikle kümelendirilmesi gereken veri bulunmamaktadır.

Verilerin kümelendirilmeden veri setlerinin oluşturulması ve veri tabanına aktarılmasının ardından, etki kategorileri için gerekli elementer akışların kümelendirilmesi gereklidir.

5.2.2.5 Sistem sınırlarının inceltilmesi

Çalışmada TRea için kurgulanmış kuralların uygunluğunu sağlayabilmek için sistem sınırlarının en başta beşikten-kapıya yerine kapıdan-kapıya seçilmesi uygundur. %1 kesim kuralında kalınması için altyapının dahil edilebilmesi güncel koşullarda mümkün olmadığından, bu süreci, modelde geri dönüş yaparak kapsam kararlarından çıkartmak gereklidir.

5.2.3 Veri dağıtımı açısından alüminyum yapısal profilin incelenmesi

Dağıtım gerektiren aşamalarda fiziksel ilişkiler üzerinden dağıtımın yapılması uygundur. Fiziksel ilişkiler ile dağıtım yapılamaması durumunda ekonomik ilişkiler kullanılabilir. Ekonomik ilişkiler üzerinden dağıtım yönteminde verilerin elde edilme tarihlerinin uygunluğu önemlidir.

Tesisteki üretimde veri dağıtımını gerektiren konular bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak: ergiyik metalin ve baca gazı ölçümlerinin farklı ürünlere dağıtılması bulunur. Ergiyik metalin dağıtılmasında, metalin fiziksel değeri olan ağırlığı kullanılarak, dökümhanede oluşmuş çevresel etkinin orantılanmasıyla dağıtımın yapılması mümkün olacaktır. Baca gazı ölçümlerinden elde edilen veriler: 1 senelik, o bacaya bağlı tüm üretimler için elde edilmiş verilerdir. Bu verinin dağıtımı için yine fiziksel ilişkilere (ağırlık) ve temel dengelere dayanan matematiksel işlemlerin yapılması uygundur. Bu kapsamda TRea modelinin uygulanmasında ilk tercih olan fiziksel ilişkiler ile dağıtım uygulanabilmektedir.

5.3 TRea modelinin alüminyum yapısal profil örneğinde sınanmasına dair sonuçlar ve tartışma

Alüminyum yapısal profil üretiminin kapıdan-kapıya ve geri-dönüşüm aşamasını içeren sistem sınırlarına ait, çevre etkisinin analizinin yapılabilmesi için, veri toplanması ve hesaplanmasını sağlayan TRea modeli envanter analiz süreci, aşağıda verilen üç adımda tartışılmaktadır.

5.3.1 Veri toplanması açısından TRea modelinin tartışılması

- Al yapısal profil örneğinde envanter analizi kapıdan-kapıya (sadece üretim sürecini kapsayan) ve geri dönüşümü içeren sistem sınırları içerisinde değerlendirebilmiştir. Malzemenin beşikten-kapıya sistem sınırları: hammadde üretimi, nakliye ve üretim olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Çalışma kapsamında yurtdışından gelen külçe Al kullanılarak Al yapısal profil üreten bir tesisin üretimi incelendiği için envanter analizi kapıdan-kapıya yapılabilmiştir. BS EN 15804'de zorunlu olarak ele alınması gereken beşikten-kapıya (hammadde üretimi-nakliye-malzeme üretimi) sistem sınırına dahil olan envanter bilgileri TRea'da belirtilen akış diyagramı çerçevesinde hammadde üreticisinden ve nakliye sağlayıcısından sağlanmalıdır. Bu kapsamda ulaşıma dair verilerin modele dahil edilmesi için: hangi uzaklıktan, hangi ulaşım türü ve rota ile geldiği ve aracın yakıt kullanımı ve ağırlığı

bilgileri elde edilerek hesaplama yapılmalıdır. Ancak hammadde üretimine dair verilerin elde edilebilmesi daha kapsamlı çalışmalar için gereklidir. Hammadde elde edilmesine dair tutarlı verilerin elde edilebilmesi için üreticinin aynı envanter analiz modelini uygulayarak bu bilgileri oluşturması gereklidir. Bunun mümkün olmaması halinde, Türkiye içerisinde aynı hammadde üreticilerinin ortalama verileri kullanılmalıdır. Ortalama verilerin elde edilmesi içinse TRea modelinin birçok malzeme için uygulanması ve Türkiye koşulları için uygun temsildeki ortalama verilerin oluşturulması gereklidir.

- Kapsam kararları açısından değerlendirildiğinde: enerji tüketimi, atık enerjinin kullanımı ve tesis içi nakliyeler ürünlerin maliyeti açısından da önemli olduğu için uygun şekilde raporlandığı görülmüştür. Su, enerji ve atık yönetimine dair bazı bilgilerin mevzuat kapsamında da biriktirildiği görülmüştür. Al örneğinde olduğu gibi malzemenin geri dönüşümünün kıymetli olduğu durumlarda geri-dönüşüm ve atık bertarafına dair yönetmeliklere ek, olumlu koşullar (tesis içi ya da dış hurda malzemenin kullanılması gibi) oluşturulmaktadır. Bunlar, malzemenin çevresel etkisinin yanısıra, üretim sürecinin ekonomikliği ile de ilgili olduğu için, gerekli kayıtlara ulaşmak mümkündür. Ancak alt yapı, üretim sürecinden bağımsız bir girdi olarak düşünüldüğünden buna dair verilere ulaşmak zordur. Çalışmaların diğer veri tabanlarının tamamı ile uyumlu olması için, altyapıya dair verilerin oluşturulması ve bu verilerin tesise yapılan ek yatırımlar olması halinde güncellenmesi ve eklenmesi gerekmektedir.
- Elementer akışlara dair kararlarda, diğer veri tabanlarının topladığı tüm verilere ulaşmak emek ve zaman yoğun bir süreçtir. İlk çalışmalar olarak ÇÜB oluşturmak için ve Türkiye yapı malzemesi sektörü için öncelikli etki değerlendirme kategorilerine dair verinin toplanması uygundur. Al yapısal profil örneği ile ilişkili çalışmada, bu verilerin çoğunun (kapsam dışı bırakılması gereken başlıklar dışında) ham veri olarak tesisten elde edilmesinin ya da üretilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Ancak Türkiye özelinde bu verilerin gerekli temel çalışmalarının yapılması (örneğin elektrik eldesinde Türkiye koşulları, vb.) gereklidir ve bunun için gerekli veri tabanları da oluşturulmaya başlanmıştır. Oluşturulmakta olan Türkiye veri tabanında enerji ve su verileri öncelikli olarak oluşturulmaktadır. (URL-5).
- Veri toplanması yöntemi açısından verilen temel karar, akış diyagramı oluşturularak buna göre birim süreçlerin belirlenmesi ve gerekli elementer akışlara göre veri toplama kağıtlarının oluşturulması ve doldurulmasıdır. Bu ölçekte yapılması

gereken ham verilerin toplanması sonrasında, elementer akışlar ve etki değerlendirme kategorileri arasındaki ilişkinin kurulmasıdır. Al örneğinde, tesisteki üretim akış şeması oluşturulmuş ve yapısal profil için birim süreçler belirlenmiştir. Akış diyagramının oluşturulması ve ham verilerin toplanması modern üretim yöntemlerini kullanan tesislerde üretim araçlarının bu verileri gerekli sıklıklarda kaydetmesi ile giderek kolaylaşmakta ve kayıt sıklığının artması ile güvenilir olmaktadır. Üretim tesislerinin modern araçlar ile kurgulanmasının ve yönetmelik/standartlarda istenen ölçümlerin daha sık yapılmasının kolaylaştırılması veri toplanması açısından olumlu etki edecek konulardır. Türkiye koşullarında sektörel bazda alt malzeme/ürün grupları ayrıştırılarak, bu üreticilerin yükümlü oldukları yönetmelikler ve bu kapsamda derlediği veriler bir altlıkta toplanmalı, ve bu altlık kullanılarak, gerekli diğer elementer akışların derlenmesi sağlanmalıdır.

- Veri depolanması için TRea veri tabanının, diğer incelenen veri tabanları ile bir arada çalışması için gereken kapsamlı altlık oluşturulmalıdır. Özellikle veri toplanması yöntemi, elementer akışlar ve veri kalitesi başlıklarından oluşturulacak veri toplama kağıtlarının uygun formatta ve veri tabanlarının karşılıklı kullanımı için uygun formatlara dönüşümlere izin verecek şekilde oluşturulması esastır. Ancak TRea modelinin kullanımının özendirilmesi için ilk aşamada, veri depolanması formatında gözönüne temel kararlar, Türkiye'deki mevzuat, veri kalitesi ve öncelikli etki değerlendirme kategorileri için zorunlu alanlar ve detaylı çalışmalar için tercihe bağlı alanların oluşturulmasıdır. Bu şekilde, veri toplayıcı, envanter analizinin emek yoğun veri toplama adımını kendi koşullarına ve çalışma kapsamına düzenleyebilecektir.

5.3.2 Veri hesaplanması açısından TRea modelinin tartışılması

- TRea içerisinde eksik verinin derlenmesi, veri tabanlarından gelen hiyerarşi ile yapılabilir. İncelenen veri tabanlarındaki tüm VKG'nin oluşturulması, hem diğer veri tabanları ile uyumun sağlanması, hem de iç onay mekanizmasının bir parçası olarak kullanılması açısından önemlidir. Al yapısal profil örneğinde, incelenen veri tabanlarındaki VKG'nin tesiste yanıtlanabilirliği değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonunda gerekli tüm göstergelerin yanıtlanabilir olduğu görülmüştür. VKG değerlendirmesiyle bir iç onay yapılabilir. Onay sürecinde ayrıca iç onaylayıcı yöntemleri kullanılabilir. Farklı disiplinleri kapsayan ve bilimsel bir çalışma olan TRea modelinde, dış onay olarak üniversite onayı önerilmektedir. Modelin

sınanmasında bu konuda bir çalışma yapılamamıştır. Trea modelinin uygulanması sürecinde, üniversitelerde bu onayı verecek mekanizmalar oluşturulmalıdır.

- Modelde verilerin toplanması sırasında, denk verilerin bir araya getirilmesi olan kümelendirmenin yapılmaması önerilmektedir. Al örneğinde kümelendirilmesi gereken veri bulunmamaktadır. Kümelendirme gizlilik ya da başka türlü elde edilemeyen veriler için gerekli kapsamlı raporlamanın yapılması ile uygulanabilir. Ancak, etki değerlendirme kategorilerine veri aktarılmasında, uygun verilerin bir araya getirilerek, birim süreçler ve ürün sistemleri için kümelendirilmesi çalışmalarda iş yükünü azaltır. Envanter analizinden, etki değerlendirme aşamasına bilgi aktarılmasında, kümelendirmeden elde edilip, depolanan verilerden kümelendirilmesi uygun olanlar seçilerek gerekli matematiksel işlemlerle kümelendirilebilir. Al yapısal profil örneğinde, kümelendirmeye dair matematiksel işlemler yapılmamıştır ancak model akışından bunun yapılması mümkündür.

5.3.3 Veri dağıtımı açısından TRea modelinin tartışılması

- TRea modelinde dağıtımının öncelikle fiziksel, bunun ardından ekonomik dengelere göre yapılması önerilmiştir. Al örneğinde, ergiyik malzemeye dair dağıtım gerekeceği öngörülmüştür. Bu durumda, malzemeye dair fiziksel ilişki olan ağırlığın kullanılarak bu dağıtımın yapılabileceği düşünülmektedir. Modelin sınanmasından çıktılar açısından baca gazı salımlarının da ilişkili ürünler arasında dağıtımının yapılması gereklidir. Bu salımların ürünlerle ilişkilendirilmesi de, fiziksel özellik olarak ağırlık ile yapılabilmektedir. Al yapısal profil örneğinde, ekonomik ilişkiler kullanılmadan, fiziksel ilişkiler ile dağıtım yapılabilmiştir. Dağıtımların sağlaması da ISO 14041 standardında önerildiği gibi, %100 kuralının uygulanması ile yapılmalıdır. Türkiye yapı malzemesi sektörü için kurgulanan envanter analizi modeli olan TRea akışı Al yapısal profiller üzerinden değerlendirildiğinde, modelin uygulanabilir bir akışa sahip olduğu görülmüştür. Ancak envanter analizi, veri tabanları ile desteklenen kapsamlı bir çalışma alanı olduğundan, Türkiye için ilişkili diğer veri tabanlarının oluşturulması, çalışmanın emek yoğun sürecinin azaltılması ve Türkiye koşulları ile daha uyumlu yürütülebilmesi açısından önemlidir. Benzer şekilde farklı malzemelerin bu modelde değerlendirilmesi ile TRea ile ilişkili bir yapı malzemesi veri tabanı da oluşacaktır. Bu veri tabanının oluşturulması da TRea modelinin uygulanmasını kolaylaştıracak ve çalışmaların Türkiye özelliklerini yansıtmasına destek olacaktır. TRea modelinin oluşturulması için ham veri - elementer akış - etki değerlendirme

kategorilerinin kurgulanması, Türkiye koşulları için gerekli arka plan verilerini içeren veri tabanlarının oluşturulması öncelikli olmalıdır. CPM veri tabanının örneğinden görüldüğü gibi, veri tabanının sektör ile ortak bir platformda geliştirilmesi, uygulamanın daha hızlı ilerlemesini ve TRea çalışmalarını destekleyecek veri tabanının oluşturulmasını destekleyecektir (URL-16).

6. SONUÇ

Türkiye yapı malzemesi sektörü için uluslararası veri tabanları ile uyumlu bir envanter analizi modeli geliştirilmiş bu çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Veri toplanması açısından çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde: veri türü, işlevsel/beyan edilmiş birim ve kapsam kararları konularında modelin yürütülebilmesinin kolaylıkla yapılabildiği görülmüştür. Sistem sınırları açısından yurtdışından getirilen malzeme için ya ek çalışmanın yapılması ya da jenerik verinin oluşturulması gereklidir. Elementer akışlar ile ilişkili çalışmanın farklı uzmanlıklarca değerlendirilerek çalışmaya eklenmesi gerekmektedir. Veri türü (birincil verilerin güvenilirliği) açısından değerlendirildiğinde: yapı malzemesi üretim tesislerinde, tesis imkanları dışında (yönetmelikler çerçevesinde yetkili kuruluşlarca) yapılan ölçümlerin sayısının yıllık bazda arttırılması uygun olacaktır. Dolayısıyla güvenilirlik için ölçüm sıklığının önemli olduğu bu değerlendirme yönteminde, ölçümlerin ekonomik değerlerinin düşürülüp, ölçüm sıklığının yasalar ile arttırılması veri güvenliğine olumlu katkı yapacaktır. Bu şekilde sektörden gerekli veri mevzuat çerçevesinde, belirli format içerisinde derlenerek güvenilir bilgi elde edilmiş olacaktır. Bunun sonucunda TRea veri tabanının oluşturulması hızlı ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebilir.
- Veri hesaplanması açısından değerlendirildiğinde: eksik verinin tamamlanması ve veri kalitesinin kontrolü diğer veri tabanları ile uyumlu şekilde gerçekleştirilebilir. Ancak verinin onaylanması için iç onayın yanısıra önemli olan dış onay mekanizması için üniversitelerde gerekli birimlerin oluşturulması uygundur. Verinin kümelendirilmesine gerek olmadan çalışmanın yürütülebileceği görülmüştür.
- Veri dağıtımı açısından çalışma ve model değerlendirildiğinde: modelde dağıtımın üç farklı aşamada ve önce fiziksel ardından ekonomik ilişkilere dayanarak yapılması önerilmiştir. Çalışma içerisinde ürünler arasında yapılması gereken dağıtımların fiziksel ilişkiler ile yapılmasının mümkün olduğu görülmüştür.

- Türkiye'de üretim sektörlerinde uygulanmakta olan mevzuatlarda, envanter analizi ile ilişkili birçok ölçümün yapılmakta olduğu görülmüştür. Dolayısıyla YDD envanter analizi Türkiye'deki yönetmeliklerin uyarlanması ile kolayca hızlandırılabilecek bir süreçtir.
- Çalışmanın sınanması sırasında bu bilgileri paylaşmak isteyen işletme sayısının azlığı dikkati çekmiştir. Bu bilgilerin paylaşımının özendirici olması ile ilgili çalışmaların yapılması gelecek çalışmaların gerçek bilgilere ulaşımının sağlanması açısından önemlidir.
- Dış onay mekanizmasının eklenmesi ve YDD envanter analizi çalışmalarının hızlandırılması ile, kapsamlı bir çalışma olan YDD envanter analizinin kullanıcı açısından arayüzü işlevi gören ÇÜB'lerin de Türkiye'de üretimleri mümkün olacaktır.
- Yapı malzemesi için üretilmiş YDD envanter analizi modelinin, oluşturulmuş Türkiye yapı malzemesi sektörü YDD etki değerlendirme modeliyle bir araya getirilmesiyle Türkiye yapı malzemesi sektörü için YDD çalışmalarının yapılacağı bir araç oluşturulabilecektir.
- Envanter analizi farklı disiplinlerin bir arada çalışması gereken bir alandır. Bunun için Türkiye koşullarının farklı disiplinlerce çalışılması ve yapı malzemesi envanteri dahil birçok konuya altlık oluşturacak arka plan veri tabanının oluşturulması, Türkiye'de yapılacak çalışmaların özelleştirilmesi için önemlidir. Günümüzde Türkiye'de başlamış bu çalışmaların farklı alanlar için arttırılması gereklidir.
- TRea modelinin Al örneğinde sınanması sırasında YDD yönteminin sadece kapıdan-kapıya (üretim ve kullanım sonrası geri-dönüşüm aşaması dahil) olan aşaması irdelenmiştir. Yapı malzemesi ile ilgili çalışmanın beşikten-beşiğe sürece ilerletilmesi, "yaşam döngüsü" kavramının tamamlanması için gereklidir. Bunun için TRea modelinin beşikten-kapıya ve geri dönüşümü içeren sınırlarının: malzemenin binaya entegre edilmesi ve sonrasındaki nakliye, inşaat, kullanım, yenileme ve yıkım evrelerini de değerlendirerek tamamlanması gerekmektedir.
- Bu aşamada farklı ülkelerin geliştirdiği yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemi için hazırlanmış olan envanter analizi veri tabanlarının karşılıklı-kullanılabilirliğinin sağlanması önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda, özellikle

karşılıklı-kullanımın öncelikli olacağı veri tabanları ile doğrudan görüşmelerin yapılması metodolojinin aynı olmasının sağlanması açısından önerilmektedir.

- Envanter analizi çalışmalarını sonrasında elde edilen verinin, veri tabanında derlenmesi farklı bir çalışma gerektirmektedir. TRea envanter analizi modelinde, verilerinin derlenmesi için oluşturulacak abakların uyumlu olacağı TRea veri tabanı ile ilişkili çalışmalar gelecekte detaylandırılmalıdır.

KAYNAKLAR

AB Eko-Etiketi ve İnşaat Sektörü, Eğitim Bilgi notu. (2012). İstanbul, 16 Mayıs 2012**.**

Adalberth, K. (1997). Energy use during the Life Cycle of Buildings: a Method, *Building and Environment*, (*Vol. 32*, No. 4, 317-320).

Akın, N, (2018). *Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Seçilen Bir Modelin Tuğla Örneği Üzerinden İrdelenmesi.* (Yüksek Lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Alejandro, J., Aguado, A., Cardim, A., Byars, E. (2004). Comparative analysis of the life cycle impact assessment of available cement inventories in the EU. *Cement and Concrete Research 34*. 1313–1320.

Alptekin, O. (2014). *Yapı malzemesi seçiminde yöntem araştırması ve bir model önerisi.* (Doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği. (2017). T. C. Resmi Gazete, 30283, 27 Aralık 2017.

American Center for Life Cycle Assessment, (2010). Requirements of the US LCI Database, *Input pursuant to the Camp Long Declaration*.

Aral, D. (2012). *Life cycle environmental impact assessment of a multi-storey residential building in İzmir*. (Yüksek Lisans Tezi). İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.

Athena Sustainable Materials Institute, (2019). *User Manual and Transparency Document Impact Estimator for Buildings.* v.5.

Athena Sustainable Materials Institute. (2004). *U.S. LCI Database Project Development Guidelines.* https://www.nrel.gov/lci/publications.html

Athena Sustainable Materials Institute, Franklin Associates, Ltd., Sylvatica. (2003). *U.S. LCI Database Project Development Guidelines.* https://www.nrel.gov/lci/publications.html

Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği. (2008). T. C. Resmi Gazete, 26952, 30 Temmuz 2008.

Atık Yönetimi Yönetmeliği. (2015). T. C. Resmi Gazete, 29314, 02 Nisan 2015.

AusLCA Committee. (2014). *Requirements for the development of AusLCI Data sets, v.3.0.*

Barries, M., England J. R., Raison, R. J., Paul, K. I. (2012). Cradle-to-gate inventory of wood production from Australian softwood plantations

and native hardwood forests: Embodied Energy, water use and other inputs, *Forest Ecology and Management* (*Vol.264*, 37-50)

Bayazıt, A. (2016). *Yapı malzemelerinin yaşam dönemi maliyetlerinin çevresel etki maliyetleriyle birlikte değerlendirilmesi.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Banar, M., Çokaygil, Z., (2011). Yer Kaplama Malzemelerinin Yaşam Döngüsü Karşılaştırması: Vinil Kaplama ve Lamine Parke Kaplama, *Politeknik Dergisi, Cilt 14*, Sayı 3, 203-206.

Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği. (2011). T. C. Resmi Gazete, 27967, 17 Haziran 2011.

Beccali, G., Cellura, M., Mistretta, M., (2002). *Energetic and Environmental Profile of a Building Material: a Case Study on Sicilian Tuff.* Sustainable Building, Rotterdam, Hollanda.

Bergman, R. D., Gu, H., Falk, R. H., Napier, T. R. (2010). Using Reclaimed Lumber and Wood Flooring in Construction: Measuring Environmental Impact Using Life-Cycle Inventory Analysis, *Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe,* Timber Committee October 11-14, Geneva, Switzerland.

Boguslaw, B. (2014). Application of stochastic approach on Monte Carlo (MC) simulation for life cycle inventory (LCI) to the steel precess chain: Case study, *Science of the Total Environment 481,* 649-655.

Bovea, M-D., Saura, Ú., Ferrero, J. L., Giner, J. (2007). Cradle-to-gate study of red clay for use in the ceramic industry, *The International Journal of Life Cycle Assessment, 12*(6), 439-447. DOI 10.1065/lca2006.06.252

BS EN 15804 (The British Standards Institution). (2012). *Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.*

Casademont, X., Alfaro, L. (2014). New tool to identify enviromental impacts on the construction works. BEDEC & TCQGMA, *Sustainable Building*. Barcelona, İspanya.

Ceylan, N. (2012). *Türkiye'de konut dış duvar sistemlerinde sıklıkla gerçekleştirilen ısı yalıtımı uygulamalarının üretim ve yapım süreçlerinin çevresel değerlendirmesi.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ciravoğlu, A. (2005). A research on embodied energy of building materials: Reflections on Turkey. *The 2005 World Sustainable Building Conference.* Tokyo. September 27-29. (SB05Tokyo).

Coulon, R., Camobreco, V., Teulon, H., Besnainou, J. (1997). Data quality and uncertainty in LCI., *The International Journal of Life Cycle Assessment, 2*(3), 178.

Crawford, R. H., (2008). Validation of a hybrid life-cycle inventory analysis method, *Journal of Environmental Management, Vol.88*(3), 496-506.

Crawford, R. H., Bontinck, P. A., Stephan, A., Wiedmann, T., Yu, M. (2017). Hybrid life cycle inventory methods-a review, *Journal* of Cleaner Production, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.176

Çetintaş, K. F. (2017). *Türkiye'de konut binalarının yaşam döngüsü sürecinde enerji ve maliyet açısından etkin tasarım alternatiflerinin geliştirilmesine yönelik model önerisi.* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çevre Kanunu. (1983). T. C. Resmi Gazete, 18132, 11 Ağustos 1983.

Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği. (2014). T. C. Resmi Gazete, 29186, 25 Kasım 2014.

Çevre Denetimi Yönetmeliği. (2008). T.C. Resmi Gazete, 27061, 21 Kasım 2008.

Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., ve Culp, C. H. (2010). Identification of parameters for embodied energy measurement: *A literature review. Energy and buildings*, *42*(8), 1238-1247. DOI 10.1016/j.enbuild.2010.02.016

Dixit, M. K., Culp, C. H., Fernandez-Solis, J. L. (2013). System boundary for embodied energy in buildings: A conceptual model for definition, *Renewable and Sustainable Energy Reviews 21,* 153–164.

Dong, Y. H., Thomas, Ng. (2015). A life cycle assessment model for evaluating the environmental impacts of building construction in Hong Kong, *Building and Environment 89*, 183-191.

de Eicker, M. O., Hischier, R., Kulay, L. A., Lehmann, M., Zah, R., Hurni, H. (2010). The applicability of non-local LCI data for LCA**,** *Environmental Impact Assesment Review 30*(3), 192-199.

Esin, T., Coşgun, N. (2004). Betonarme yapım sistemlerinin ekolojik açıdan değerlendirilmesi, *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi,* Ekim 2004.

Ekvall, T. (2010). Sustainability Assessment at the 21st century, *Attributional and Consequential Life Cycle Assessment,* (Chapter 4), DOI: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89202

European Commission; Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability. (2010). *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Specific guide for Life Cycle Inventory data sets.* (1. Sürüm Mart 2010). https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-Specific-guide-for-LCI-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf

Evangelista, P. P. A., Kiperstock, A., Torres, E. A., Gonçalves, J. P. (2018). Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA), *Construction and Building Materials 169*, 748-761.

Flemström, K., Pålsson, A. C. (2003). Introduction and guide to LCA data documentation using the CPM documentation criteria and the ISO/TS 14048 data documentation format (CPM Report 2003:3). https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/2003_3.pdf

Ferreira, A. D. D., Mainier, F. B. (2015). Application of Life Cycle Assessment (LCA) in Construction Industry, *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, IJCEE-IJENS (*Vol. 15*, No. 05).

Frischknecht, R. (2006) Notions on the Design and Use of an Ideal Regional or Global LCA Database, *International Journal LCA 11* Special Issue 1, 40 – 48

Frischknecht, R., Rebitzer, G. (2005). The ecoinvent database system: a comprehensive web-based LCA database, *Journal of Cleaner Production 13*, 1337-1343.

Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T… Spielmann, M. (2005). The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework, *Int J LCA 10 (1)* 3-9. (2005)-OnlinePublication: October, 2004. DOI: http://dx.doi.org/10.1065/lca2004.10.181.1

Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H., Hischier, R., Doka, G., Dones, R… Wernet, G. (2007). Overview and methodology. Data v2.0 (ecoinvent report No.1). https://www.ecoinvent.org/files/200712_frischknecht_jungbluth_overview_methodology_ecoinvent2.pdf

Guinee, J. B. (t.y.) Life Cycle Assessment: past, present and future. *International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction.* Nantes, Fransa. July 10-12.

Guinee, J. B., Udo de Haes, H. A., Huppes G. J. (1993). Quantitative life cycle assessment of products, *Cleaner Production*, (*Vol.1*, No.1).

Gursel, A. P., Masanet, E., Horvarth, A, Stadel, A. (2014). Life-cycle inventory analysis of concrete, *Cement & Concrete Composites 51*, 38–48.

Hafriyat Toprağı, İnşaat Ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği. (2004). T.C. Resmi Gazete, 25406, 18 Mart 2004.

Harris, D. (1999). A quantitative approach to the assessment of the environmental impact of building materials, *Building and environment, 34*(6), 751-758.

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği. (2008). T.C. Resmi Gazete, 26898, 06 Haziran 2008.

Herrmann, I. T., Moltesen, A. (2015). Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal of Cleaner Production, 86*, 163-169. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.08.004

Hubbard, S. S., Bowe, S. A. (2010). A Gate-To-Gate Life-Cycle Inventor of Solid Hardwood Flooring in the Eastern US, *Wood and Fiber Science, 42* (CORRIM Special Issue), 79–89.

ISO 14040 (International Standarts Organization). (2006). *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. İsviçre.

ISO 14041 (International Standarts Organization). (1998). *Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis*. İsviçre.

ISO 14044 (International Standarts Organization). (2006). *Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines.* İsviçre.

ISO 14046 (International Standarts Organization). (2014). *Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines.* İsviçre.

ISO 14049 (International Standarts Organization). (2012). *Enviromental Management- Life cycle assessment. -Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to goal and scope definition and inventory analysis.* İsviçre.

Iosif, A., Hanrot, F., Birat, J. P., Ablitzer, D. (2010). Physicochemical modelling of the classical steelmaking route for life cycle inventory analysis, *Int. J. of Life Cycle Assess. 15,* 304-310.

Iosif, A. M., Hanrot, F., Ablitzer, D. (2008). Process integrated modelling for steelmaking Life Cycle Inventory analysis, *Environmental Impact Assesment Review 28*(7), 429-438.

Junghoon, P., Sunghi, T., Taehyung, K. (2012). Life cycle CO_2 assessment of concrete by compressive strength on construction site in Korea, *Renewable and Sustainable Energy Reviews 16*(5), 2940-2946.

Karaman, Ö. S. (2014). *Türk Yapı Malzemesi Sektörü İçin Yaşam Döngüsü Etki değerlendirmesine yönelik bir model Önerisi.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği. (2015). T. C. Resmi Gazete, 29314, 2 Nisan 2015.

Kaya, U. (2010). *Sürdürülebilir dış duvar sistemi için tasarım seçeneklerinin geliştirilmesi.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kellenberger, D. (2007). Modelling principles for the collection of consistent and comprehensive LCI data, *The New Zealand Sustainable Building*, Yeni Zellanda.

Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, İzni ve Kısıtlanması Hakkında Yönetmelik. (2017). T. C. Resmi Gazete, 30105 (Mükerrer), 23 Haziran 2017.

Kua, H. (2012). Attributional and consequential life cycle inventory assessment of recycling copper slag as building material in Singapore, *Transactions of the Institute of Measurement and Control 35*(4), 510-520.

Kupfer, T., Baitz, D., Colodel, C. M., Kokborg, M., Schôll, S., Rudolf, M…Thylmann, D. (2017). *GaBi Database & Modelling Principles.* Almanya.

Lasvaux, S., Habert, G., Peuportier, B., Chevalier, J. (2015) Comparison of generic and product-specific Life Cycle Assessment databases: application to

construction materials used in building LCA studies, *Int J Life Cycle Assess,* 20:1473–1490

Lesage, P., Samson, R. (2016). The Quebec life cycle inventory database project, *The International Journal of Life Cycle Assessment, 21*(9), 1282-1289. DOI 10.1007/s11367-013-0593-1

Levasseur, A. Lesage, P., Margni, M., Deschenes, L., Samson R. (2010). Considering time in LCA: Dynamic LCA and its application to global warming Impact Assessments, *Environment Science Technolgy. 44*, 3169-3174.

Li, C., Nie, Z., Cui, S., Gong, X., Wang, Z., Meng, X. (2014). The life cycle inventory study of cement manufacture in China, *Journal of Cleaner Production, 72*, 204-211.

Lippiat, B. C., Ahmad, S. (2004) Measuring the life-cycle environmental and economic poerformance of concrete: the BEES approach", *Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, (Vol. 2004,* 213-230).

Lolli, N., Fufa, S. M., Inman, M., (2017). A parametric tool for the assessment of operational energy use, embodied energy and embodied material emissions in building, *Energy Procedia 111,* 21-30.

Maden Atıkları Yönetmeliği. (2015). T. C. Resmi Gazete, 29417, 15 Temmuz 2015.

Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J., Marrero, M. (2016). LCA databases focused on construction materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58,* 565-573. DOI 10.1016/j.rser.2015.12.243

Puettmann, M. E., Wilson, J. B. (2005). Gate-to-gate life-cycle inventory of glued-laminated timbers production, *Wood and Fiber Science, 37,* Corrim Special Issue, 99-113.

Moncaster, A. M., Symons, K. E. (2013). A method and tool for 'cradle to grave' embodied carbon and energyimpacts of UK buildings in compliance with the new TC350 standards. *Energy and Buildings 66*, 514-523.

Nebel, B., Alcorn, A., Wittstock, B. (2008). *Life Cycle Assessment: adopting and adapting overseas LCA data and methodologies for building materials in New Zealand*, The Ministry of Agriculture and Forestry.

Oğuz, C. Z., Tanaçan, L. (2020). Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Envanter Veri Tabanı için Veri Toplama Metodolojisinin Analizi, *Tasarım + Kuram, Cilt 16* (Sayı 29) 117-140.

Özçuhadar, T. (2007). *Sürdürülebilir çevre için enerji etkin tasarımın yaşam döngüsü sürecinde incelenmesi.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özmehmet, E. (2007). Avrupa ve Türkiye'deki sürdürülebilir mimarlık anlayışına eleştirel bakış, *Journal of Yasar University, 2*(7), 809-826.

Öztaş, S. K., Tanaçan, L. (2017). The Importance of Local Factors for Inventory Analysis, *International Structural Engineering Society (ISEC-09), Resilient Structures and Sustainable Constructions,* Juy 2017,

Valencia, İspanya. ISBN: 978-0-9960437-4-8, doi:10.14455/ISEC.res.2017.212.

Pajchrowski, G., Noskowiak, A., Lewandowska, A. Strykowski, W. (2014). Materials composition or energy characteristic–What is more important in environmental life cycle of buildings? *Building and Environment, 72,* 15-27. DOI 10.1016/j.buildenv.2013.10.012

PlasticsEurope. (2011). PlasticsEurope: Eco-profiles and Environmental Declarations, – LCI Methodology and PCR for Uncompounded Polymer Resins and Reactive Polymer Precursors (Sürüm2.0). https://www.plasticseurope.org/application/files/7415/1747/5136/eco-profile_methodology_version2-0_April2011.pdf

PlasticsEurope. (2019). Eco-profiles program and methodology PlasticsEurope (Sürüm 3.0). https://www.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles

Praseeda, K. I., Reddy, B. V., Mani, M. (2015). Embodied energy assessment of building materials in India using process and input-output analysis, *Energy and Buildings 86,* 677-686.

Ramesh, T., Prakash, R., Shukla, K. K., (2010). Life cycle energy analysis of buildings: an overview, *Energy and Buildings, 42*(10), 1592-1600.

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. (2009). T. C. Resmi Gazete, 27277, 03 Temmuz 2019.

Schuurmans, A. (2003) Data quality assessment method for LCI-data of the Dutch building industry, *International Workshop on LCI-Quality.*

Severith, M., Manthey, C. (2012). Comparing Data Management in LCI Databases, *EnviroInfo Dessau 2012, Part 2: Open Data and Industrial Ecological Management,* 517-524.

Sinha, R., Lennartsson, M., Frostell, B. (2016). Environmental footprint assessment of building structures: A comparative study. *Building and Environment, 104*, 162-171. DOI 10.1016/j.buildenv.2016.05.012

Sonnemann, G. ve Vigon, B. (Ed.). (2011). Global Guidance Principles For Life Cycle Assessment Databases - A Basis for Greener Processes and Products. UNEP-SETAC Life Cycle Initiative http://www.unep.org/pdf/Global-Guidance-Principles-for-LCA.pdf

Strazza, C., Del Borghi, A., Blengini, G. A., Gallo, M. (2010). Definition of the methodology for a Sector EPD (Environmental Product Declaration): case study of the average Italian cement, *Int. J. of Life Cycle Assess. 15,* 540-548.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. (2004). T. C. Resmi Gazete, 25687, 31 Aralık 2004.

Suh, S., Huppes, G. (2005). Methods for Life Cycle Inventory of a product, *Journal of Cleaner Production 13,* 687-697.

Suh, S., Leighton, M., Tomar, S., Chen, C. (2016). Interoperability between ecoinvent ver. 3 and US LCI database: a case study, *The International Journal of Life Cycle Assessment, 21*(9), 1290-1298. DOI 10.1007/s11367-013-0592-

Tanaçan, L. (2011). The parameters of Internationally accepted Green Building Material Selection Criteria, *The 9th China Urban Housing Conference*, Hong Kong, China. July.

Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği. (2005). T. C. Resmi Gazete, 26005, 26 Kasım 2005.

Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik. (2010). T. C. Resmi Gazete, 27605, 8 Haziran 2010.

Tuna Taygun, G., (2005). *Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi.* (Doktora tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

URL-1 <*https://www.buildinggreen.com/news-analysis/ed-mazria-interview-aia-gold-medal-winner-2021*>, erişim tarihi 05.01.2021.

URL-2 <*https://simapro.com/databases/*> erişim tarihi 02.03.2021

URL-3 <*http://www.GaBi-software.com/databases/GaBi-databases/*)>, erişim tarihi 02.03.2021

URL-4 <*https://cevreetiketi.csb.gov.tr*> , erişim tarihi 05.01.2021.

URL-5 <*https://www.temizuretimmerkezi.org/aktif-projelerimiz/ulusal-yasam-dongusu- degerlendirmesi-veri-tabaninin-gelistirilmesi-projesi_26*> , erişim tarihi 05.01.2021.

URL-6 <*https://www.environdec.com/all-about-epds*>, erişim tarihi 21.02.2021

URL-7 <*https://www.ecoinvent.org/database/older-versions/ecoinvent-version-2/methodology-of-ecoinvent-2/ecospold1/ecospold1.html#708*>, erişim tarihi 08.01.2021.

URL-8 <*https://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/Ecoinvent*>, erişim tarihi 13.01.2021.

URL-9 <*https://ghgprotocol.org/gabi-databases*>, erişim tarihi 13.01.2021.

URL-10 <*https://ghgprotocol.org/life-cycle-databases*>, erişim tarihi 13.01.2021.

URL-11 <*https://www.plasticseurope.org/en/focus-areas/life-cycle-thinking*>, erişim tarihi 08.01.2021.

URL-12 <*https://ghgprotocol.org/third-party-databases/Athena-Institute*>, erişim tarihi 13.01.2021.

URL-13 <*https://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/NREL-LCI* >, erişim tarihi 13.01.2021.

URL-14 <*https://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/Bilan-Carbone*>, erişim tarihi 13.01.2021.

URL-15 <*https://en.itec.cat/services/sustainability/lca-database* > , erişim tarihi 14.01.2021.

URL-16 <*https://cpmdatabase.cpm.chalmers.se/AboutDatabase.htm*> , erişim tarihi 13.01.2021.

URL-17 <*https://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/ProBas*>, erişim tarihi 14.01.2021.

URL-18 <*https://en.itec.cat/database*> , erişim tarihi 14.01.2021.

URL-19 <*https://github.com/uslcidmin/uslcicontent/blob/dev/docs/submission_handbook/02-how-to-publish-in-the-uslci.md#review*>, erişim tarihi 21.01.2021.

URL-20 <https://www.openlca.org/format-converter/ > , erişim tarihi 14.01.2021.

URL-21 <*https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/02/20120225-7.htm*> , erişim tarihi 21.01.2021.

Utama A., Mclellan, B. C., Gheewala, S. H., Ishihara, K. N. (2012). Embodied impacts of traditional clay versus modern concrete houses in a tropical regime, *Building and Environment 57*. 362-369.

Vares, S., Häkkinen, T. (1998). "Environmental burdens of concrete and concrete products."

Weidema, B. P, Bauer, C., Hischier, R., Mutel, C., Nemecek, T., Vadenbo C.O., Wernet G. (2012). *Overview and methodology: Data quality guideline for the ecoinvent database* Sürüm3. (EcoinventReport1(v3)). https://www.ecoinvent.org/files/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506.pdf

Wittstock, B., Gantner J., Lenz, K., Saunders, T, Anderson, J., Carter, C… Sjöström, C. (2011). *EeBGuide Guidance Document, Operational guidance for Life Cycle Assessment studies of the Energy Efficient Buildings Initiative, Part A: Products.* EeBGuide Project websitesinden erişildi: www.eebguide.eu

Yapı Malzemeleri Yönetmeliği. (2013). T. C. Resmi Gazete, 28703, 10 Temmuz 2013.

Yousefi-Sahzabi, A., Unlu-Yucesoy, E., Sasaki K., Yousefi, H., Widiatmojo, A., Sugai, Y. (2017). Turkish Challenges for low carbon society: current status, government policies and social acceptance, *Renewable and Sustainable Energy Reviews 68*, 596-608.

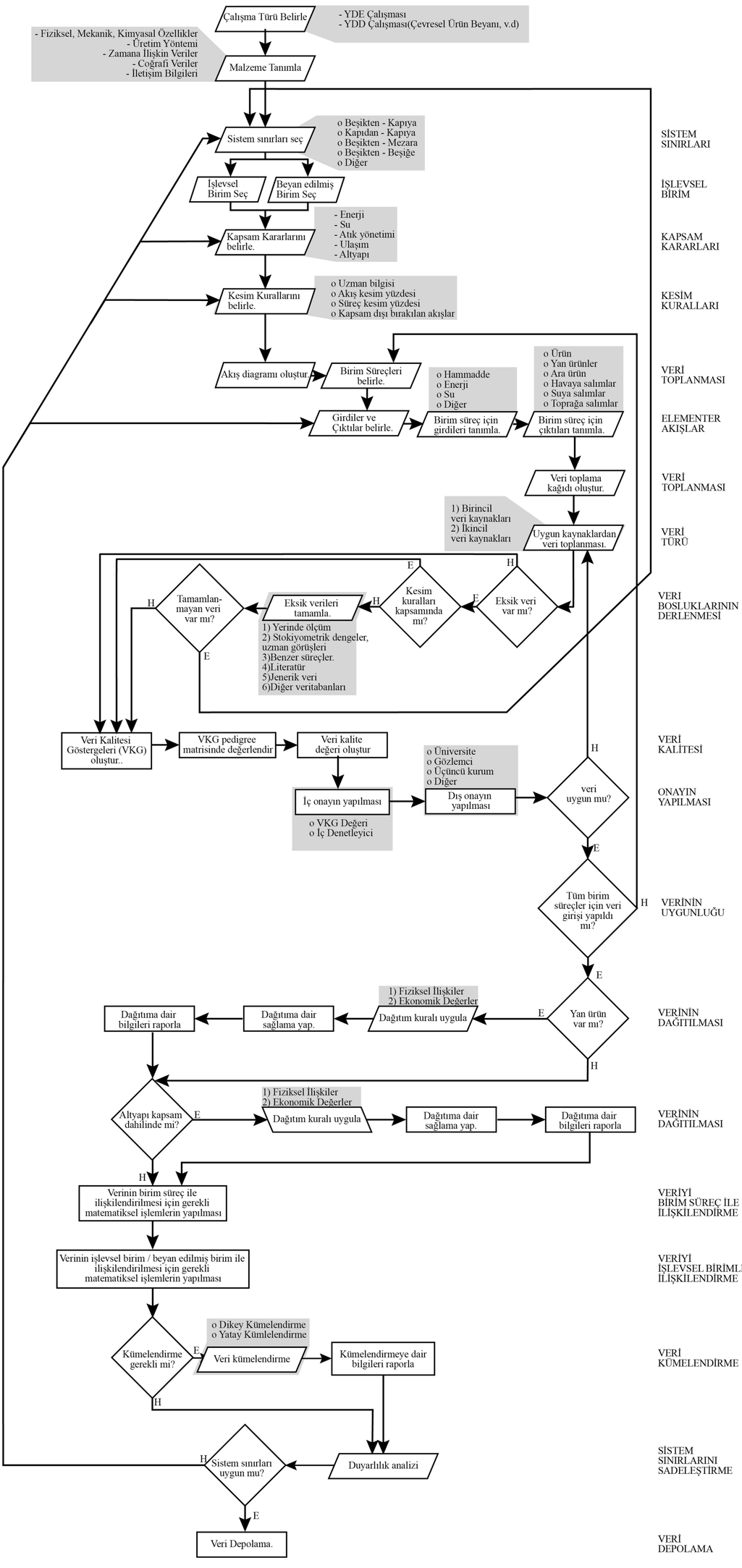
.

EKLER

EK A: Envanter Analizi Akış Şeması

EK B: TRea Modeli Akış Diyagramı

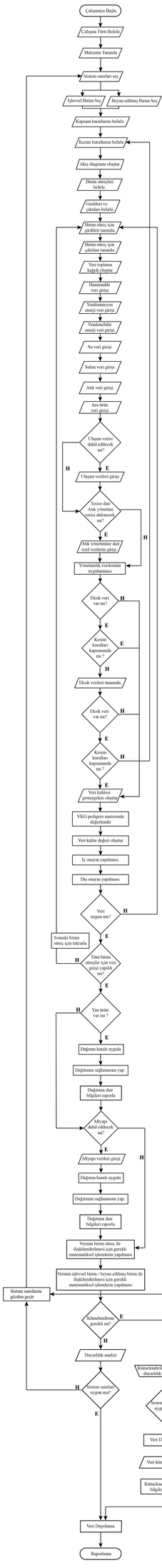
Ek A: Envanter Analizi Akış Şeması



Şekil A.1: Envanter analizi akış şeması.

(ISO 14040 serileri; BS EN 15804:2012; Suh ve diğ, 2016; Frischknecht, 2006; Kellenberger, 2007; Lasvaux ve diğ, 2015; Dixit ve diğ, 2010; Frischknecht ve diğ., 2007; Kupfer ve diğ., 2017; European Comission, 2010; PlasticsEurope, 2011; Athena Sustainable Materials Institute, 2004; Athena Sustainable Materials Institute, 2019; Casademont ve Alfaro, 2014; Flemstörm ve Palsson, 2003; Severith ve Manthey, 2012; Martínez-Rocamora ve diğ., 2016; PlasticsEurope ,2019; Athena Sustainable Materials Institute ve diğ., 2003; URL-18 URL-19; URL-20'den yararlanılmıştır.)

Ek B: TRea Modeli Akış Diyagramı



Şekil Ek B.1: TRea modeli akış diyagramı.

Model akışının ve ilişkili kuralların oluşturulması sırasında: ISO 14040 serileri; BS EN 15804:2012; Suh ve diğ. 2016; Frischknecht, 2006; Kellenberger, 2007; Lauwaes ve diğ. 2015; Doan ve diğ. 2010; Frischknecht ve diğ., 2007; Kupfer ve diğ., 2017; European Comission, 2010; PlasticsEurope, 2011; Athena Sustainable Materials Institute, 2004; Athena Sustainable Materials Institute, 2019; Casademont ve Alfaro, 2014; Flemström ve Palsson, 2003; Sovacool ve Mastbey, 2012; Martínez-Rocamora ve diğ., 2016; PlasticsEurope ,2019; Athena Sustainable Materials Institute ve diğ., 2003; URL 18; URL-19; URL-20; Kasman Ortaç, 2014; Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği. 2014; Atık Yönetimi Yönetmeliği. 2015; Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği, 2011; Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 2004; Maden Atıkları Yönetmeliği, 2015; Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahaların dair Yönetmelik, 2010; Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği, 2005; Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2009; Çevre Denetimi Yönetmeliği, 2008; Atık Yağlarının Kontrolü Yönetmeliği, 2008; Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 2017; Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, İzni ve Kısıtlanması Hakkında Yönetmelik, 2017; Hava Kalitesi Değerlendirme ve Denetimi Yönetmeliği, 2008; Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2004 kaynaklarından yararlanılmıştır.)

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** C. Zeynep Oğuz

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2005, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
- **Lisans** : 2006, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
- **Yükseklisans** **:** 2009, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim dalı, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Programı

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Oğuz Z., Tanaçan L**.** "Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Envanter Veri Tabanı için Veri Toplama Metodolojisinin Analizi", Tasarım Kuram 2020;16(29):117-140 doi: 10.14744/tasarimkuram.2020.08860